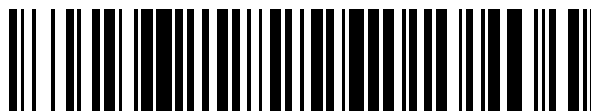


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 716 169**

51 Int. Cl.:

G01J 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2016** E 16163028 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019** EP 3225961

54 Título: **Método de adquisición de datos de temperatura**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.06.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

ZHAO, YAN;
KLOOSTERMAN, JEFFREY WILLIAM;
LUNSFORD, JEREMY CHARLES y
LI, XIANMING JIMMY

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 716 169 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 de adquisición de datos de temperatura

5 **Antecedentes**

La presente divulgación está dirigida a la adquisición de datos de temperatura en tubos de proceso de un horno.

10 Un reformador de metano en vapor es un ejemplo de un horno que contiene una pluralidad de tubos de proceso. Un tipo de horno para reformado de metano en vapor puede utilizar numerosos tubos de proceso (incluyendo una configuración que tenga más de 400 tubos de proceso), que contienen un catalizador (por ejemplo, un catalizador de reformado) para transportar un fluido de proceso (por ejemplo, vapor y un hidrocarburo) y reaccionar el fluido de proceso en el mismo. El horno puede incluir, en un ejemplo, tubos de proceso que se extiendan verticalmente, colocados en filas paralelas cada una de las cuales puede incluir aproximadamente de 30 a 60 tubos. La distancia entre dos filas de tubos es de 2 a 3 metros aproximadamente. Los tubos pueden extenderse verticalmente aproximadamente 12 metros y tienen un diámetro exterior de 100 a 150 milímetros. Los tubos pueden posicionarse en la fila con un espacio de entre 250 y 500 mm de centro a centro. Entre cada conjunto de dos filas de tubos pueden colocarse alrededor de 10 a 20 quemadores. En el horno puede incluirse un total de ocho o más filas de tubos, y nueve o más filas de quemadores.

20 En general, resulta cada vez más importante la eficiencia energética para procesos industriales, tales como el reformado de metano en vapor. Para muchos procesos, la eficiencia del proceso está relacionada con la capacidad de monitorear/mantener ciertas temperaturas de los tubos del proceso. Un monitoreo más preciso de la temperatura de los tubos de proceso puede permitir una mejor eficiencia energética, al permitir el uso de datos más precisos para el control del proceso.

30 Una forma de mejorar la eficiencia de un horno es mantener temperaturas uniformes entre los tubos de proceso a una elevación predeterminada en el horno. Así, puede ser necesaria la medición o el monitoreo de la temperatura de cada uno de los tubos de proceso en una ubicación o elevación predeterminada para obtener la mejora deseada de la eficiencia. Adicionalmente, los tubos de proceso de un horno pueden estar a presiones internas muy altas (de hasta aproximadamente 50 atmósferas) y a temperaturas muy altas (de hasta aproximadamente 950 °C). Así, un ligero cambio en la temperatura puede reducir la vida útil de un tubo de proceso. Por ejemplo, operar a aproximadamente 10 °C por encima de la temperatura de diseño para el tubo puede reducir a la mitad la vida útil del mismo. El costo de reparar y/o reemplazar los tubos puede ser elevado debido al uso de aleaciones especiales en los tubos, que resultan necesarias para permitir que los tubos soporten las condiciones operativas del horno. Adicionalmente, la pérdida de producción debido a la reparación de los tubos conlleva la pérdida de ingresos. Como tal, los/las operarios/as del horno también miden/monitorean las temperaturas de los tubos para evitar que se exceda la temperatura de diseño de los tubos, además de tratar de obtener mejoras en la eficiencia.

40 En un método para medir/monitorear la temperatura de los tubos de proceso, un/a operario/a puede usar un pirómetro óptico. Al usar el pirómetro óptico, el/la operario/a apunta el dispositivo a una ubicación predeterminada en un tubo de proceso, y luego activa el dispositivo. Tras la activación, el pirómetro óptico mide la radiación térmica y muestra o registra una temperatura correspondiente para la ubicación predeterminada en el tubo de proceso, y el/la operario/a anota la temperatura medida para cada tubo. El/la operario/a repite el proceso para cada uno de los tubos. El uso del pirómetro óptico presenta diversos inconvenientes, ya que puede producirse una exposición a altas temperaturas, no es posible usar la misma ubicación predeterminada para todos los tubos, puede ser que no se mida la temperatura de un tubo seleccionado o puede medirse inadvertidamente dos veces el mismo tubo, en lugar del tubo adyacente deseado, y el proceso puede tardar demasiado y resultar en fluctuaciones de temperatura en los tubos.

50 Más recientemente, se han implementado dispositivos de formación térmica de imágenes para medir/monitorear la temperatura de los tubos de proceso. En la Patente de Estados Unidos n.º 8.300.880 B2 se describe un ejemplo de un dispositivo y un método de formación térmica de imágenes. En la Patente de Estados Unidos n.º 8.300.880 B2, se mueve un solo dispositivo de formación de imágenes de un visor a otro para recopilar una pluralidad de imágenes, y se obtiene información de la temperatura para la mayoría de los tubos de proceso o para todos ellos. Este enfoque tiene la ventaja de que puede obtenerse información de temperatura para todos los tubos de proceso, pero la desventaja de que es necesario que el/la operario/a mueva el dispositivo de formación de imágenes de un visor a otro.

60 En la Solicitud de Patente de Estados Unidos n.º 14/963644 se describe un dispositivo de formación de imágenes adecuado para obtener información de temperatura de tubos de proceso. En la Solicitud Patente de Estados Unidos n.º 14/963644 se divulga un dispositivo de formación de imágenes que puede fijarse a una puerta de visor. Se pueden utilizar múltiples dispositivos de formación de imágenes, cada uno montado en una puerta de visor diferente, para obtener información de temperatura para la mayoría de los tubos de proceso del horno o para todos ellos. Este enfoque tiene la ventaja de que puede obtenerse información de temperatura para todos los tubos de proceso sin que el/la operario/a tenga que mover el dispositivo de formación de imágenes de un visor a otro. Este

enfoque también tiene la ventaja de que pueden proporcionarse mediciones periódicas de temperatura de manera relativamente continua. Este enfoque presenta la desventaja de que se requieren muchos dispositivos de formación térmica de imágenes, lo que puede ser costoso.

5 En la industria resulta deseable obtener información de temperatura para una pluralidad de tubos de proceso en un horno sin que un/a operario/a tenga que moverse de un visor a otro para capturar la información de temperatura.

10 En la industria resulta deseable determinar la información de temperatura para una pluralidad de tubos de proceso en un horno con un número reducido de dispositivos fijos de formación térmica de imágenes, es decir, sin que sea necesario un dispositivo de formación térmica de imágenes de gama completa donde se formen imágenes de todos y cada uno de los tubos de proceso.

En la industria resulta deseable las mediciones de temperatura periódicas y repetidas para el control del proceso.

15 **Breve resumen**

La invención presenta aspectos, como se describe a continuación. A continuación, se describen aspectos específicos de la invención. Los números de referencia y las expresiones expuestas entre paréntesis se refieren a una realización ejemplar, que se explicará más adelante con referencia a las figuras. Sin embargo, los números de referencia y las expresiones son solo ilustrativos, y no limitan el aspecto a ningún componente o característica específico de la realización ejemplar. Los aspectos pueden formularse como reivindicaciones en las que los números de referencia y las expresiones establecidos entre paréntesis se omitan o reemplacen por otros, según corresponda.

25 Aspecto 1. Un método para determinar la información de temperatura para una pluralidad de tubos (4) en un horno (1), comprendiendo el método:

30 capturar una o más imágenes digitales de un área interior del horno (1), donde la una o más imágenes digitales comprenden datos de píxel asociados con un subconjunto de la pluralidad de tubos (4) colocados dentro del horno (1);

35 identificar en una o más imágenes digitales una pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, del subconjunto de la pluralidad de tubos (4), comprendiendo la pluralidad de tubos (4) los tubos (10) de los que se han formado imágenes y los tubos (11) de los que no se han formado imágenes, los tubos (10) de los que se han formado imágenes detectados en una o más imágenes digitales, los tubos (11) de los que no se han formado imágenes no detectados en ninguna de la una o más imágenes digitales;

40 procesar una porción de los datos de píxel asociados con la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, para obtener un valor representativo de una medida de tendencia central para al menos un subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, en la una o más imágenes digitales;

45 procesar el valor representativo de la medida de tendencia central para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes;

extraer un efluente (p. ej. reformado) de cada uno de la pluralidad de tubos (4);

50 recolectar el efluente extraído de cada uno de la pluralidad de tubos en una pluralidad de cabezales colectores secundarios (6), estando cada uno de la pluralidad de cabezales colectores secundarios (6) conectado operativamente a un respectivo grupo de múltiples grupos de la pluralidad de tubos (4), formando el efluente recolectado en cada cabezal colector secundario (6) un respectivo efluente combinado en cada cabezal colector secundario (6);

55 pasar el efluente recolectado en cada respectivo cabezal colector secundario (6) a un cabezal colector primario (7);

60 medir un valor relativo a una temperatura del efluente combinado en uno o más cabezales colectores secundarios (6a) de la pluralidad de cabezales colectores secundarios (6) (por ejemplo, utilizando el sensor 5a de temperatura); y

65 procesar el valor representativo de la medida de tendencia central para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, y el valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6a), para obtener información de temperatura para al menos un subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4).

Aspecto 2. El método del aspecto 1, que comprende adicionalmente medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado para cada uno de uno o más cabezales colectores secundarios (6b) adicionales, de la pluralidad de cabezales colectores secundarios (6) (utilizando, por ejemplo, un termopar 5b); donde el valor relacionado con la temperatura del efluente combinado para cada uno del uno o más cabezales colectores secundarios (6b) adicionales se procesa en la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a, 11b) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes.

Aspecto 3. El método del aspecto 1 o el aspecto 2

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes, de la pluralidad de tubos (4), comprende: calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se ha formado imágenes en una primera sección (12a) de fila de tubos, estando cada tubo (10) del que se ha formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos conectado operativamente a un primer cabezal colector secundario (6a), donde el efluente de cada tubo (10) del que se ha formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos se combina en el primer cabezal colector secundario (6a) antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7), donde la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se ha formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos se calcula a partir de una correlación, utilizando el valor representativo de la medida de la tendencia central para cada tubo (10) del que se ha formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos, donde la correlación proporciona temperaturas de efluente representativas a partir de valores que representan la medida de la tendencia central; y

procesar la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se ha formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos, y el valor relativo a la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6a); donde la etapa de medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6) comprende medir un valor relacionado con una temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario (6a).

Aspecto 4. El método del aspecto 3,

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4) comprende:

calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se ha formado imágenes en una segunda sección (12b) de fila de tubos, conectada operativamente al primer cabezal colector secundario (6a), calculándose la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se ha formado imágenes de la segunda sección (12b) de fila de tubos a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se ha formado imágenes, de la primera sección (12a) de fila de tubos.

Aspecto 5. El método del aspecto 3,

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4) comprende:

calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en una segunda sección (12b) de fila de tubos, conectada operativamente a un segundo cabezal colector secundario (6c), calculándose la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes de la segunda sección (12b) de fila de tubos a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes, de la primera sección (12a) de fila de tubos;

donde la etapa de medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6) comprende adicionalmente medir un valor relacionado con una temperatura del efluente combinado en el segundo cabezal colector secundario (6a), donde el efluente de cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos se combina en el segundo cabezal colector secundario (6c) antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7).

Aspecto 6. El método de uno cualquiera de los aspectos 1 a 4,

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes, de la pluralidad de tubos (4), comprende:

calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en una primera sección (12a) de fila de tubos, estando cada tubo (10) del que se han formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos conectado operativamente a un primer cabezal colector secundario (6a), donde el efluente de cada tubo (10) del que se han formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos se combina en el primer cabezal colector secundario (6a) antes de

hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7), donde la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos se calcula a partir de una correlación, utilizando el valor representativo de la medida de la tendencia central para cada tubo (10) del que se han formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos, donde la correlación proporciona un temperaturas de efluente representativas a partir de valores que representan la medida de tendencia central; y

calcular una temperatura representativa para un efluente combinado a partir de los tubos (10) de los que se han formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos, utilizando la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos;

donde la etapa de medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6) comprende medir un valor relacionado con una temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario (6a); y

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4) comprende adicionalmente:

calcular una temperatura representativa para un efluente combinado de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de una segunda sección (12b) de fila de tubos, conectada operativamente al primer cabezal colector secundario (6a), donde el efluente de cada tubo (11) del que no se han formado imágenes de la segunda sección (12b) de fila de tubos se combina en el primer cabezal colector secundario (6a) antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7), donde la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la segunda sección (12b) de fila de tubos se calcula a partir del valor relativo a la temperatura del efluente combinado del primer cabezal colector secundario (6a), y de la temperatura de efluente representativa combinado de los tubos (10) de los que se han formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos;

determinar una primera relación de temperaturas, siendo la primera relación de temperaturas aquella entre la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos y la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos (10) de los que se han formado imagen de la primera sección (12a) de fila de tubos;

formular una segunda relación de temperaturas, siendo la segunda relación de temperaturas aquella entre una temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes de la segunda sección (12b) de fila de tubos y la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la segunda sección (12b) de fila de tubos, donde la segunda relación de temperaturas se formula utilizando al menos la primera relación de temperaturas;

calcular la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes de la segunda sección (12b) de fila de tubos, a partir de la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la segunda sección (12b) de fila de tubos, y de la segunda relación de temperaturas; y

calcular la información de temperatura para los tubos (11) de los que no se han formado imágenes a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes de la segunda sección (12b) de fila de tubos, y de una correlación que proporciona la información de temperatura para los tubos (11) de los que no se han formado imágenes a partir de las temperaturas de efluente representativas.

Aspecto 7. El método de uno cualquiera de los aspectos 1 a 3 y 5

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4) comprende:

(a) calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en una primera sección (12a) de fila de tubos, estando cada tubo (10) del que se han formado imágenes de la primera sección (12a) de fila de tubos conectado operativamente a un primer cabezal colector secundario (6a), donde el efluente de cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos se combina en el primer cabezal colector secundario (6a) antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7), donde la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila

de tubos se calcula a partir de una correlación, utilizando el valor representativo de la medida de tendencia central para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos, donde la correlación proporciona temperaturas de efluente representativas a partir de valores que representan la medida de tendencia central;

5 donde la etapa de medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6) comprende

10 medir un valor relacionado con una temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario (6a); y

15 medir un valor relacionado con la temperatura de un efluente combinado en un segundo cabezal colector secundario (6c), donde una segunda sección (12b) de fila de tubos de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes está conectada operativamente al segundo cabezal colector secundario (6c), donde el efluente de cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos se combina en el segundo cabezal colector secundario (6c) antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7); y

20 donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes, de la pluralidad de tubos, (4) comprende adicionalmente:

25 determinar una primera relación de temperaturas, siendo la primera relación de temperaturas aquella entre la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos y el valor relativo a la temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario (6a);

30 formular una segunda relación de temperaturas, siendo la segunda relación de temperaturas aquella entre una temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos y el valor relativo a la temperatura del efluente combinado en el segundo cabezal colector secundario (6c), donde la segunda relación de temperaturas se formula utilizando al menos la primera relación de temperaturas;

35 calcular la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos a partir del valor relacionable con la temperatura del efluente combinado en el segundo cabezal colector secundario (6c), y de la segunda relación de temperaturas; y

40 calcular la información de temperatura para los tubos (11) de los que no se han formado imágenes a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos, y de una correlación que proporciona la información de temperatura para los tubos (11) de los que no se han formado imágenes a partir de las temperaturas de efluente representativas.

45 Aspecto 8. El método de uno cualquiera de los aspectos anteriores, donde la etapa de procesar el valor representativo de la medida de tendencia central para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes comprende determinar valores de temperatura para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, a partir del valor correspondiente que representa la medida de tendencia central para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes.

50 Aspecto 9. El método de uno cualquiera de los aspectos anteriores, donde la etapa de procesar el valor representativo de la medida de la tendencia central para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, y el valor relativo a la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6a), para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4), comprende determinar un valor de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes a partir del valor representativo de la medida de tendencia central para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imagen, y del valor relativo a la temperatura del efluente combinado en uno o más cabezales colectores secundarios (6a).

60 Aspecto 10. El método de uno cualquiera de los aspectos anteriores, que comprende adicionalmente:

65 medir un valor relacionado con la temperatura de una pared de un tubo para uno o más de la pluralidad de tubos (4) colocados dentro del horno (1) (por ejemplo, con un pirómetro óptico (15));

donde el valor relacionado con la temperatura de la pared del tubo para uno o más de la pluralidad de tubos también se procesa para obtener la información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4); y

5 donde al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes comprende tubos de los que no se han formado imágenes, donde no se midió el valor relacionado con la temperatura de la pared del tubo.

10 Una ventaja del presente método es un mejor monitoreo de las temperaturas de los tubos de proceso, para obtener una eficiencia mejorada del horno y para extender la vida operativa de los tubos de proceso.

Otra ventaja del presente método es un proceso estandarizado de medición/monitoreo.

15 Otra ventaja más del presente método es reducir el número de dispositivos de formación térmica de imágenes que se necesitan para obtener información de temperatura para los tubos de proceso en un horno.

Aún otra ventaja más del presente método es una mejora en el ahorro de costos y el ahorro de tiempo relacionados con los tubos de proceso de medición/monitoreo.

20 En el presente documento se divulgan aspectos adicionales del método. Los expertos en la materia apreciarán y comprenderán las características anteriormente analizadas, así como otras características y ventajas del presente método, a partir de la siguiente descripción detallada y los siguientes dibujos.

Breve descripción de varias vistas de los dibujos

25 La FIG. 1 muestra una vista en sección transversal de un horno, visto desde la parte superior.

La FIG. 2 muestra una vista en sección transversal de un horno, visto desde el lado.

30 La FIG. 3 muestra una vista en sección transversal de un horno con temperaturas hipotéticas de los tubos, utilizadas para describir un enfoque matemático ejemplar para el método.

35 La FIG. 4 muestra una vista en sección transversal de un horno con temperaturas de efluente representativas e hipotéticas, utilizadas para describir el enfoque matemático ejemplar para el método.

La FIG. 5 muestra una vista en sección transversal de un horno con temperaturas de efluente representativas e hipotéticas, utilizadas para describir el enfoque matemático ejemplar para el método.

40 La FIG. 6 muestra una vista en sección transversal de un horno con temperaturas hipotéticas de los tubos, utilizadas para describir un enfoque matemático ejemplar para el método.

La FIG. 7 muestra una vista en sección transversal de un horno con temperaturas de efluente representativas e hipotéticas, utilizadas para describir el enfoque matemático ejemplar para el método.

45 La FIG. 8 muestra un gráfico de contorno ejemplar de la diferencia de temperaturas medidas para los tubos, en relación con una temperatura de referencia en una elevación seleccionada de un horno.

50 La FIG. 9 muestra un gráfico de contorno ejemplar de la diferencia de temperaturas para los tubos, en relación con la temperatura de referencia en una elevación seleccionada de un horno de acuerdo con el método.

Siempre que sea posible, se utilizarán los mismos números de referencia en todos los dibujos para representar las mismas partes.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

55 La siguiente descripción detallada proporciona solo realizaciones ejemplares preferidas, y no pretende limitar el alcance, la aplicabilidad o la configuración de la invención. Más bien, la siguiente descripción detallada de las realizaciones ejemplares preferidas proporcionará a los expertos en la materia una descripción habilitadora para implementar las realizaciones ejemplares preferidas de la invención, entendiéndose que pueden efectuarse diversos cambios en la función y la disposición de los elementos sin apartarse del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones.

65 Tal como se usan en el presente documento, los artículos "un" y "uno/a" significan uno o más cuando se aplican a cualquier característica en realizaciones de la presente invención, descritas en la memoria descriptiva y las reivindicaciones. El uso de "un" y "uno/a" no limita el significado a una sola característica, a menos que se establezca específicamente tal límite. El artículo "el/la" precediendo sustantivos singulares o plurales, o frases

nominales, denota una característica particular especificada, o características particulares especificadas, y puede tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el cual se utilice. El adjetivo "cualquiera" significa uno/a, algunos/as o todos/as, indiscriminadamente de la cantidad.

5 Tal como se usa en el presente documento, "pluralidad" significa "dos o más de dos".

Tal como se usan en el presente documento, "primero/a", "segundo/a", "tercero/a", etc. se utilizan para distinguir entre una pluralidad de etapas y/o características, y no son indicativos del número total o la posición relativa en el tiempo y/o espacio, a menos que se indique expresamente como tal.

10 Para ayudar a describir la invención, pueden usarse términos direccionales en la memoria descriptiva y las reivindicaciones para describir partes de la presente invención (p. ej., superior, inferior, izquierdo/a, derecho/a, etc.). Estos términos direccionales están destinados simplemente a ayudar a describir y reivindicar la invención, y no pretenden limitar la invención en modo alguno. Adicionalmente, los números de referencia que se introduzcan en la memoria, en asociación con una figura de los dibujos, podrán repetirse en una o más figuras subsiguientes sin descripción adicional en la memoria para proporcionar contexto para otras características.

15 La presente divulgación se refiere a un método para determinar la información de temperatura para una pluralidad de tubos en un horno. La pluralidad de tubos para los cuales se determina la información de temperatura puede consistir en menos que el número total de tubos en el horno. El método se describe más detalladamente a continuación, con referencia a los dibujos adjuntos.

20 La FIG. 1 muestra una representación en sección transversal de un horno 1, con tubos 4 de proceso colocados dentro de un área interior del horno 1 visto desde la parte superior. El horno 1 puede ser un reformador de metano a vapor, un reformador de metanol, un fraccionador de etileno, un horno de recalentamiento de plataformas, una cámara de calor radiante u otro tipo similar de horno, reformador o cámara. Los tubos 4 pueden estar colocados en una serie de filas, separadas por elementos calentadores o quemadores 3. Los tubos 4 pueden extenderse en el horno 1 verticalmente, como se muestra, u horizontalmente. Los tubos 4 pueden ser tubos de reformador que contengan un catalizador. Los quemadores 3 pueden estar dispuestos en filas, para introducir un combustible y un oxidante (p. ej., aire precalentado) para que la combustión aumente la temperatura del área interior del horno 1 a una temperatura deseada, para llevar a cabo el proceso o actividad a efectuar dentro del horno 1. Las filas de tubos 4 y las filas de quemadores 3 pueden ser sustancialmente paralelas. A lo largo del perímetro del horno 1 se encuentran unos visores 2 que permiten observar y/o analizar desde un punto exterior al horno 1 los tubos 4, los quemadores 3 y cualquier otra estructura o característica dentro del horno 1. Los pares de visores 2 pueden estar situados en el perímetro del horno 1, en los extremos opuestos de una fila de quemadores 3.

30 Uno o más dispositivos 8 de formación térmica de imágenes (p. ej. cámaras) pueden estar dispuestos para captar imágenes digitales de los tubos. Cada uno del uno o más dispositivos 8 de formación térmica de imágenes puede montarse a través de un respectivo visor 2a del horno 1, como se muestra en la FIG. 1.

40 La FIG. 2 muestra una representación en sección transversal de un horno 1 con unos tubos 4 de proceso situados dentro de un área interior del horno 1, visto desde el lateral. Se muestra cómo los tubos 4 se extienden desde la parte superior del horno hasta la parte inferior del mismo, donde unas "conexiones en espiral" están conectadas en el extremo de salida de los tubos 4. Las conexiones en espiral conectan los tubos 4 de proceso a los cabezales colectores secundarios 6. Se forman grupos de tubos 4 de proceso, estando conectados los tubos 4 de proceso de cada grupo a un respectivo cabezal de los cabezales colectores secundarios 6. De ello se deduce que todos los tubos 4 de proceso de un primer grupo de tubos 4 de proceso están conectados operativamente a un primer cabezal colector secundario 6, y que todos los tubos 4 de proceso de un segundo grupo de tubos 4 de proceso están conectados operativamente a otro cabezal colector 6, es decir, a un segundo cabezal colector secundario 6. La pluralidad de tubos 4 de proceso puede comprender uno o más más grupos adicionales de tubos 4 de proceso, es decir, un tercer, cuarto, etc. grupo(s), estando cada tubo de proceso del mismo grupo adicional conectado operativamente a un respectivo cabezal colector secundario 6 adicional, es decir, un tercer, cuarto, etc. cabezal colector secundario 6 adicional. Pueden conectarse dos secciones de fila de tubos a un cabezal colector secundario 6 común. Los cabezales colectores secundarios 6 pueden conectarse a un cabezal colector primario 7.

50 El horno 1 puede tener unos visores 2 en uno o más niveles o elevaciones. Los visores 2 pueden estar centrados entre cada fila de tubos, o desplazados con respecto a las filas de tubos. El hecho de contar con los visores 2 en más de un nivel permite una mayor capacidad de visualización de los tubos 4. La mejor capacidad de visualización de los tubos puede facilitarse adicionalmente utilizando más de un visor entre al menos algunas filas de tubos.

60 El método comprende capturar una o más imágenes digitales de un área interior de un horno 1, donde la una o más imágenes digitales comprenden datos de píxel asociados con un subconjunto de la pluralidad de tubos 4 posicionados dentro del horno 1.

65 Tal como se usa en el presente documento, un subconjunto es un conjunto en el cual cada uno de sus elementos es un elemento de un conjunto o grupo más grande. Por lo tanto, un subconjunto de la pluralidad de tubos es un

conjunto de tubos que pertenece al conjunto total de la pluralidad de tubos pero que contiene menos que el número total en el conjunto de la pluralidad de tubos.

5 Las imágenes digitales se pueden obtener dirigiendo un dispositivo 8 de formación térmica de imágenes (p. ej., una cámara digital) a través de un visor 2a (es decir, el visor que tiene el dispositivo de formación térmica de imágenes) o un orificio en el horno, y luego capturando la correspondiente información de imagen, es decir, "haciendo una foto" de la correspondiente porción del área interior. Las imágenes digitales pueden captarse mediante una cámara digital o cualquier otro dispositivo capaz de capturar información de imagen digital. Las imágenes pueden capturarse utilizando cualquier dispositivo de formación térmica de imágenes adecuado, por ejemplo, comercializado por AMETEC Land, Lenox Instrument Company, FLIR Systems, Inc., Enertech, Inc., o según se describe en el documento US 8.300.880 B2 o en la Solicitud de Patente de Estados Unidos n.º 14/963644.

15 El dispositivo 8 de formación térmica de imágenes puede ser un dispositivo portátil de mano o, preferiblemente, un dispositivo montado de manera fija. El dispositivo 8 de formación térmica de imágenes puede montarse en el visor según se describe en la Solicitud de Patente de Estados Unidos n.º 14/963644.

20 El dispositivo de formación térmica de imágenes puede capturar una imagen (o varias imágenes) a través del visor 2 de una porción del área interior del horno 1. La imagen puede incluir una fila de tubos 4 ubicados a lo largo del lado izquierdo de la imagen, y otra fila de tubos 4 ubicados a lo largo del lado derecho de la imagen. Adicionalmente, la imagen puede incluir un visor opuesto. El visor opuesto puede utilizarse para capturar una imagen desde la pared opuesta del horno 1. La imagen puede incluir otras estructuras y/o características del área interior del horno 1 que estén dentro del campo de visión de la cámara.

25 La porción del área interior capturada en una imagen puede superponerse a, o incluir, porciones similares del área interior captada en una o más imágenes tomadas desde otros visores. Dicho de otra manera, la porción del área interior mostrada en una imagen puede incluir estructuras o características que también se muestren en una o más imágenes. Por ejemplo, las imágenes captadas desde visores 2 adyacentes pueden mostrar algunos de los mismos tubos 4 desde diferentes ángulos. De manera similar, las imágenes tomadas desde visores 2 opuestos pueden mostrar algunos de los mismos tubos en diferentes ángulos. Adicionalmente, no es necesario que las imágenes se correspondan con, o mapeen, regiones específicas o exclusivas del área interior, y pueden mostrar regiones o porciones sustancialmente similares del área interior.

35 El generador de imágenes o el sensor que está incorporado en el dispositivo de formación térmica de imágenes puede incluir píxeles que registren la intensidad de la luz recibida en el píxel. El número de píxeles de la cámara corresponde a la resolución de la misma. La cámara puede tener cualquier resolución adecuada, por ejemplo, una resolución de entre aproximadamente 1 megapíxel (aproximadamente 1 millón de píxeles) y aproximadamente 10 megapíxeles (aproximadamente 10 millones de píxeles), o más. Cada píxel en el generador de imágenes o el sensor puede contar con uno o más componentes o canales que registren la intensidad de la luz. Cada píxel del generador de imágenes o el sensor puede contar con tres componentes o canales, que pueden corresponder a los canales rojo (R), verde (G) y azul (B). Los canales o componentes del píxel pueden configurarse para que sean más receptivos a la luz en ciertas frecuencias predeterminadas y menos receptivos a la luz en otras frecuencias predeterminadas, cuando se registre la intensidad de la luz. En otras palabras, la luz a ciertas frecuencias predeterminadas puede contribuir más a la medición de la intensidad general que la luz a otras frecuencias predeterminadas. Cuando se captura una imagen, las intensidades registradas para cada canal o componente de cada píxel se almacenan como datos de imagen o datos de píxeles. Los píxeles pueden configurarse para medir la intensidad de la luz en el espectro visible. Alternativamente, puede configurarse cada uno de los tres canales (RGB) para medir la intensidad de la luz en el intervalo espectral cercano al infrarrojo.

50 Después de obtener las imágenes del horno 1, pueden cargarse los datos de imagen correspondientes para cada una de las imágenes en un ordenador u otro dispositivo de procesamiento, para el procesamiento y análisis adicionales.

55 Puede usarse un solo dispositivo de formación térmica de imágenes para capturar una o más imágenes digitales del área interior del horno 1. Utilizar el único dispositivo de formación térmica de imágenes para capturar todas las imágenes puede aumentar la consistencia del procesamiento y análisis posteriores de los datos de imagen, porque las imágenes se capturan en condiciones uniformes del dispositivo, por ejemplo como señales uniformes a niveles de ruido y sensibilidades uniformes a diferentes longitudes de onda.

60 Alternativamente, puede usarse una pluralidad de dispositivos 8 de formación térmica de imágenes y dirigirlos a través de diferentes visores 2 del horno 1, para capturar la una o más imágenes digitales del área interior del horno. Cada uno de los dispositivos de formación térmica de imágenes puede llevar a cabo mediciones periódicas repetidas de los tubos 4, para obtener imágenes digitales durante un período de tiempo. El procesamiento y análisis posteriores de los datos de imagen deberán tener en cuenta las diferencias en las condiciones del dispositivo de formación térmica de imágenes, tales como las diferencias en las sensibilidades a diferentes longitudes de onda y las diferencias en las relaciones entre señal y ruido, como resultado de las diferencias en las condiciones entre los dispositivos y/o modelos de dispositivos. Tener en cuenta las diferencias en las condiciones de los dispositivos de

formación térmica de imágenes puede ser necesario para hacer que los datos de imagen adquiridos con un dispositivo de formación térmica de imágenes se correspondan con los datos de imagen adquiridos con otro dispositivo de formación térmica de imágenes.

5 Al capturar una imagen del área interior del horno 1, la cámara puede incluir uno o más filtros para evitar que ciertas longitudes de onda de la luz lleguen al generador o sensor de imágenes, o para reducir la cantidad que llegue al mismo. El generador o sensor de imágenes puede incluir dispositivos de carga acoplada (CCD) y/o dispositivos semiconductores complementarios de óxido de metal (CMOS). El filtro puede estar diseñado para permitir que un porcentaje deseado de luz, a una longitud de onda predeterminada, pase a través del filtro y alcance el sensor. El
10 filtro puede estar diseñado para permitir que a través del filtro pase una menor cantidad de luz, es decir, menos del 50 % de la luz, a longitudes de onda que sean menores que la longitud de onda predeterminada, y para permitir que a través del filtro pase más luz, es decir, más del 50 % de la luz, a longitudes de onda mayores que la longitud de onda predeterminada. La longitud de onda predeterminada puede ser de aproximadamente 715 nm. La longitud de onda predeterminada puede ser de entre aproximadamente 300 nm o menos, y/o de 1000 nm o más.

15 Las imágenes pueden corregirse utilizando corrección de distorsión, como se describe en el documento US 8.300.880.

20 Las imágenes pueden procesarse utilizando un ordenador para corregir cualquier rotación o desviación ("corrección de rotación") con respecto a una posición específica, por ejemplo, una "posición centrada", como se describe en el documento US 8.300.880. En relación con el presente método puede utilizarse cualquier método adecuado de corrección de la rotación.

25 Las imágenes "corregidas" se pueden procesar utilizando un ordenador para detectar o determinar en la imagen los bordes de los tubos 4 y/o cualquier otra característica deseable, por ejemplo, el visor 2 opuesto. Los bordes detectados de los tubos 4 y las características detectadas de la imagen pueden ajustarse o modificarse en vista de un modelo geométrico del horno 1, como se describe en el documento US 8.300.880.

30 El método comprende identificar en una o más imágenes digitales una pluralidad de tubos 10 de los que se han formado imágenes en el subconjunto de la pluralidad de tubos 4. La una o más imágenes digitales se pueden obtener a través de uno o más visores 2. En la FIG. 1, un dispositivo 8 de formación térmica de imágenes está ubicado en el visor 2a. La FIG. 1 muestra el campo de visión 9 del dispositivo 8 de formación térmica de imágenes cuando capta imágenes desde el visor 2a. Como puede observarse en FIG. 1, el campo de visión 9 del dispositivo 8 de formación térmica de imágenes incluye tubos 10 de los que se han formado imágenes. La pluralidad de tubos 4 en el horno 1 comprende tubos 10 de los que se han formado imágenes y tubos 11 de los que no se han formado
35 imágenes. Los tubos 10 de los que se han formado imágenes son los tubos que se detectan en al menos una de la una o más imágenes digitales, y los tubos 11 de los que no se han formado imágenes no se detectan en ninguna de la una o más imágenes digitales. Obviamente, habrá más tubos de los que se han formado imágenes cuando se obtengan más imágenes digitales desde un mayor número de visores distintos. En el presente método, al menos
40 algunos de los tubos 4 de los que no se han formado imágenes.

45 El método comprende procesar una porción de los datos de píxel asociados con la pluralidad de tubos 10 de los que se han formado imágenes, para obtener un valor que represente una medida de tendencia central para al menos un subconjunto 10a de la pluralidad de tubos 10 de los que se han formado imágenes, en la una o más imágenes digitales de la pluralidad de imágenes digitales.

50 El método comprende procesar el valor que representa la medida de la tendencia central para al menos el subconjunto 10a de la pluralidad de tubos 10 de los que se han formado imágenes, para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 10a de los tubos 10 de los que se han formado imágenes. Esta etapa puede comprender determinar valores de temperatura para al menos el subconjunto 10a de la pluralidad de tubos 10 de los que se han formado imágenes, a partir del valor correspondiente que representa la medida de la tendencia central para al menos el subconjunto 10a de la pluralidad de tubos 10 de los que se han formado imágenes.

55 La información de temperatura de los tubos 10 de los que se han formado imágenes se determina en función de los datos de píxel de la una o más imágenes digitales. Para determinar un valor de temperatura para un tubo 10 del que se han formado imágenes, se procesan los datos de píxel en el segmento del correspondiente tubo 10 del que se han formado imágenes para determinar un valor que represente una medida de tendencia central, que luego puede correlacionarse con una temperatura. La temperatura o valor de temperatura es un valor representativo para un tubo. La temperatura del tubo varía a lo largo de la longitud del tubo. Puede ser conveniente determinar la
60 información de temperatura de los tubos en una ubicación donde se prevea la temperatura más alta de los mismos.

65 El procesamiento de los datos de píxel, por ejemplo los valores de intensidad, comienza con la obtención de un valor que representa una medida de tendencia central, para cada canal o componente, a partir de los datos de píxel de los píxeles en el segmento. El valor que representa una medida de tendencia central puede ser una mediana de los datos de píxel. Alternativamente, el valor que representa una medida de tendencia central puede ser una media, una media robusta, un modo u otra medida estadística derivada de los datos de píxel. Se correlaciona entonces con un

valor de temperatura el valor que representa una medida de tendencia central para cada canal o componente.

Al valor de temperatura para un segmento determinado a partir del valor que representa una medida de tendencia central también se le puede asignar un valor de incertidumbre. El valor de incertidumbre puede cuantificar la fiabilidad en el valor de temperatura determinado. Numerosos factores, tales como la distancia desde el tubo a la cámara (longitud de recorrido, "d"), el ángulo de la cámara (formado por una línea central de la cámara y la posición del tubo 10 del que se han formado imágenes, "α"), el número de píxeles en el segmento que representa el tubo, pueden afectar la fiabilidad de una determinación de valor de temperatura. Si los datos de píxel incluyen múltiples canales o componentes, puede promediarse el valor de temperatura para cada uno de los canales o componentes utilizando una técnica de promedio estadístico, por ejemplo, promedio, promedio ponderado, etc., para obtener un solo valor de temperatura para el segmento que corresponda a un tubo 10 del que se han formado imágenes.

Para obtener una correlación entre los valores de temperatura y los datos de píxel, puede formarse y almacenarse una relación entre las temperaturas conocidas y los datos de píxel en una base de datos u otro dispositivo de memoria, para la accesibilidad en el futuro. Una técnica para obtener la relación entre los datos de píxel y la temperatura consiste en capturar una imagen del área interior y luego, poco después, tras la captura de la imagen adquirir mediciones de temperatura de los tubos en la parte del área interior correspondiente a la imagen. Las mediciones de temperatura de los tubos pueden efectuarse con un pirómetro óptico u otro dispositivo adecuado. Luego se comparan los valores representativos de una medida de tendencia central a partir de la imagen, que corresponden a los tubos 4, con las mediciones de temperatura para establecer una correlación o relación entre la temperatura y el valor de píxel. También pueden usarse otras técnicas para obtener información de temperatura para los tubos 4, para establecer la relación o correlación con los valores de píxel. Una vez que se establece una relación o correlación entre las temperaturas y los valores de píxel, puede utilizarse la correlación para el posterior procesamiento de las imágenes.

Alternativamente, en lugar de determinar un valor de temperatura para cada tubo 10 del que se han formado imágenes en cada imagen, pueden continuar procesándose los datos de píxel de segmento o los valores que representen una medida de la tendencia central, de manera similar a la analizada anteriormente (incluyendo la aplicación de valores de incertidumbre) para generar una representación del horno 1 en datos de píxel o valores estadísticos. Los datos o valores de píxel que representan una medida de tendencia central en la representación del horno pueden convertirse luego a temperaturas, utilizando la relación o correlación explicada anteriormente, para obtener una representación del horno basada en los valores de temperatura.

Puede usarse un método de regresión multivariable (tal como los mínimos cuadrados parciales) para establecer una correlación entre la temperatura de los tubos específicos, para los cuales están disponibles las mediciones de temperatura independientes, y los datos de píxel de una imagen. La correlación puede incorporar variables que incluyen, pero no se limitan a, valores de píxel de canal, por ejemplo, valores R, G, B, d, α, otras mediciones cuantificables adecuadas y/o combinaciones de las mismas. Por ejemplo, el valor correlacionado de la temperatura del tubo se puede representar como T_j (para el tubo j) y las variables independientes como x_{ij}, donde i denota la

$$x \in \{R, G, B, 1/d, \frac{1}{d^2}, \alpha, \dots\}.$$

igésima variable, de una lista parcial de variables donde Otras variables asociadas con la temperatura del tubo pueden incluir el R, G, B del tubo anterior y el tubo siguiente. La temperatura del tubo 4 en una ubicación predeterminada puede representarse como una combinación lineal de estas variables, con coeficientes desconocidos A_i, de tal manera que T_j=∑_iA_ix_{ij}. Dado un conjunto de mediciones de temperatura independientes, T_j, donde j = 1, 2, ..., n, que puede provenir de un pirómetro, los coeficientes desconocidos pueden determinarse minimizando el error entre los datos reales y la predicción en el sentido de los mínimos cuadrados:

$$\text{Min}_{j=1,n} \{(T_j - \hat{T}_j)^2\} = \text{Min}_{j=1,n} \left\{ \left(T_j - \sum_i A_i x_{ij} \right)^2 \right\}.$$

Estas evaluaciones pueden llevarse a cabo de manera sistemática con la ayuda de herramientas de software estadístico y matemático estándar (por ejemplo, Matlab®). El resultado final de las evaluaciones puede generar una correlación entre los datos de imagen y las temperaturas de los tubos 4 en el sentido de mínimos cuadrados. T_j=∑_iA_ix_{ij}, permitiendo estimaciones de temperatura para todos los tubos en las imágenes (no solo aquellos para los que se dispone de mediciones de temperatura independientes).

El método comprende extraer un efluente de cada uno de la pluralidad de tubos 4. Se puede introducir en los tubos 4 una mezcla de gas reactivo, por ejemplo una mezcla de gas de alimentación de reformador que contenga vapor y uno o más hidrocarburos. La mezcla de gas reactivo puede reaccionar dentro de los tubos 4 en presencia de un catalizador, contenido dentro de los tubos 4. De los tubos 4 puede extraerse un efluente, por ejemplo, un reformado que comprenda H₂, CO, CO₂ y H₂O, y hacerse pasar el mismo a los respectivos cabezales colectores secundarios 6.

El método comprende recoger el efluente extraído de cada uno de la pluralidad de tubos, en una pluralidad de cabezales colectores secundarios 6. Cada uno de la pluralidad de cabezales colectores secundarios 6 está conectado operativamente a un respectivo grupo de múltiples grupos de la pluralidad de tubos 4. El efluente recolectado en cada cabezal colector secundario 6 de cada grupo forma un respectivo efluente combinado, en cada cabezal colector secundario 6.

Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 1, el efluente del subconjunto 10a de tubos 10 de los que se han formado imágenes y el efluente del subconjunto 11a de tubos 11 de los que no se han formado imágenes se pasan al cabezal colector secundario 6a, para formar un efluente combinado en el cabezal colector secundario 6a. Un primer cabezal colector secundario 6a está conectado operativamente a un primer grupo de la pluralidad de tubos 4, que consiste en un subconjunto 10a de tubos 10 de los que se han formado imágenes y un subconjunto 11a de tubos 11 de los que no se han formado imágenes. El efluente del subconjunto 10b de tubos 10 de los que se han formado imágenes y el efluente del subconjunto 11b de tubos 11 de los que no se han formado imágenes se pasan al cabezal colector secundario 6b, para formar un efluente combinado en el cabezal colector secundario 6b. Un segundo cabezal colector secundario 6b está conectado operativamente a un segundo grupo de la pluralidad de tubos 4, que consiste en el subconjunto 10b de tubos 10 de los que se han formado imágenes y el subconjunto 11b de tubos 11 de los que no se han formado imágenes.

El método comprende hacer pasar el efluente recolectado en cada respectivo cabezal colector secundario 6 a un cabezal colector primario 7. El efluente puede transportarse a través del cabezal colector primario 7 hasta las operaciones de unidades de procesamiento situadas aguas abajo. En el caso de la producción de hidrógeno, el efluente (reformado) puede hacerse pasar a varios intercambiadores de calor, uno o más reactores de desplazamiento y separadores de componentes, tal como una unidad de adsorción por cambio de presión.

El método comprende medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en uno o más cabezales colectores secundarios 6a, de la pluralidad de cabezales colectores secundarios 6. El valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en cada uno de los cabezales colectores secundarios puede medirse con sensores 5 de temperatura. Para medir el valor relativo a la temperatura del efluente combinado puede usarse un termopar o cualquier otro sensor de temperatura adecuado para medir la temperatura. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 1, el sensor 5a de temperatura está dispuesto para medir el valor relativo a la temperatura para el efluente combinado del cabezal secundario 6a. Los sensores de temperatura pueden efectuar mediciones periódicas repetidas del efluente combinado de los cabezales secundarios 6, para obtener valores relacionados con la temperatura durante un período de tiempo.

El método comprende procesar el valor que representa la medida de tendencia central para al menos el subconjunto 10a de la pluralidad de tubos 10 de los que se han formado imágenes, y el valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios 6a, para obtener información de temperatura para al menos un subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos 4. Esta etapa puede comprender determinar los valores de temperatura para al menos el subconjunto 11a de la pluralidad de tubos 11 de los que no se han formado imágenes, a partir del valor correspondiente representativo de la medida de tendencia central para al menos el subconjunto 10a de la pluralidad de tubos 10 de los que se han formado imágenes, y el valor relativo a la temperatura del efluente combinado en uno o más cabezales colectores secundarios 6a.

Se puede obtener información de temperatura útil para al menos un subconjunto de tubos de los que no se han formado imágenes, aunque no se efectúe una medición directa de los tubos de los que no se han formado imágenes utilizando el dispositivo de formación térmica de imágenes. La ventaja es evidente, porque se necesitan menos dispositivos de formación térmica de imágenes para obtener una imagen casi completa de las temperaturas de los tubos en el horno.

También se puede obtener información de temperatura para tubos adicionales de los que no se han formado imágenes. El método puede repetirse para otras secciones del horno, hasta que se obtenga información de la temperatura de todos los tubos en el horno. Sin embargo, existen beneficios incluso si no se obtiene información de temperatura de todos los tubos en el horno. Por ejemplo, puede ser que alguna región del horno sea particularmente susceptible al sobrecalentamiento. En ese caso, puede aplicarse el método solo en esta región del horno susceptible al sobrecalentamiento.

El método puede comprender adicionalmente medir un valor relativo a una temperatura del efluente combinado, para cada uno de uno o más cabezales colectores secundarios adicionales 6b de la pluralidad de cabezales colectores secundarios 6. Como se muestra en la FIG. 1, un sensor 5b de temperatura puede estar dispuesto para medir el valor relativo a la temperatura del efluente combinado del cabezal colector secundario 6b.

En la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes, puede usarse el valor relacionado con la temperatura del efluente combinado para cada uno del uno o más cabezales colectores secundarios 6b adicionales. Por ejemplo, el subconjunto de la pluralidad de tubos 10a de los que se han formado imágenes se usa en combinación con el valor

relativo a la temperatura del efluente combinado del cabezal secundario 6a, para obtener la información de temperatura para los tubos 11a de los que no se han formado imágenes, y el subconjunto de la pluralidad de tubos 10b de los que se han formado imágenes se usa en combinación con el valor relativo a la temperatura del efluente combinado del cabezal secundario 6b, para obtener la información de temperatura para los tubos 11b de los que no se han formado imágenes.

La etapa de procesamiento, para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos 4, puede comprender calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo 10 del que se han formado imágenes en una primera sección 12a de fila de tubos. Cada tubo 10 del que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos está conectado operativamente al cabezal colector secundario 6a, y el efluente de cada tubo 10 del que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos se combina en el cabezal colector secundario 6a antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario 7. La temperatura de efluente representativa para cada tubo 10 del que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos puede calcularse a partir de una correlación, utilizando el valor representativo de la medida de tendencia central para cada tubo 10 del que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos. La correlación proporciona temperaturas de efluente representativas a partir de valores que representan la medición de tendencia central.

Tal como se usa en el presente documento, una correlación es cualquier relación establecida a base de teorías y/o datos. La correlación puede representarse en forma de ecuaciones y/o tablas de búsqueda, o de medios similares.

La correlación puede desarrollarse a partir de simulaciones por ordenador, modelos y/o datos medidos del horno, que tengan en cuenta diferentes caudales. La correlación puede usar modelos que describan el proceso de transferencia a los tubos 4 de calor de los gases de productos de combustión en caliente. Los modelos pueden tener en cuenta diferentes modos de transferencia de calor (radiación, conducción y convección) y reacciones químicas en los tubos. La correlación puede ser capaz de predecir la diferencia de temperatura entre la pared del tubo y el efluente del proceso para cada tubo individual. La correlación puede ajustarse y verificarse utilizando temperaturas de pared de tubo, medidas experimentalmente, y temperaturas de gas de proceso medidas.

Los modelos de reformador útiles para desarrollar la correlación son conocidos en la técnica, por ejemplo, los documentos "Computer-aided Modeling and Simulation of the Thermodynamics of Steam Reforming", de Grotendorst et al., "Mathematics and Computers in Simulation, páginas 1-21, 1738 (1999), y " Mathematical modeling of an industrial steam-methane reformer for on-line deployment", de DA Latham et al., Fuel Process. Technol. (2011), doi: 10.1016/j.fuproc.2011.04.001.

Esta etapa matemática se describe con referencia a la FIG. 3 y la FIG. 4. La FIG. 3 ilustra un horno simplificado con temperaturas de tubo hipotéticas. A un subconjunto de tubos 10a de los que se han formado imágenes se le asignan temperaturas de 1600, 1588 y 1576. Las unidades de temperatura no importan, ya que esto es solo una ilustración de cómo pueden hacerse los cálculos. Las temperaturas pueden obtenerse a partir de una o más imágenes digitales que comprendan datos de píxel asociados con el subconjunto de tubos 10a de los que se han formado imágenes. Las temperaturas de los tubos 11a de los que no se han formado imágenes son las temperaturas a predecir a partir de las temperaturas de los tubos 10a de los que se han formado imágenes y la temperatura del efluente combinado.

Para este cálculo ilustrativo, se asumirá una correlación simple entre la temperatura del efluente y la temperatura del tubo, donde la temperatura del efluente es 70 grados menos que la temperatura del tubo. Así, la temperatura de efluente representativa para cada tubo del que se han formado imágenes en la sección de fila de tubos es 1530, 1518 y 1506. Estos valores para las temperaturas de efluente se muestran en la FIG. 4.

La etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11a de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos 4 puede comprender calcular una temperatura representativa para un efluente combinado, de los tubos 10 de los que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos, usando la temperatura de efluente representativa para cada tubo 10 del que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos. La temperatura representativa de efluente combinado puede ser cualquier tipo de promedio, por ejemplo, una media o un valor medio ponderado. La temperatura representativa combinada puede determinarse usando balances de masa y energía si así se desea, o simplemente usando el valor medio para los tubos.

Para el cálculo ilustrativo se utilizará un valor medio simple. La media de 1530, 1518 y 1506 es 1518.

La etapa de medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios 6 puede incluir medir un valor relacionado con una temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario 6a.

Para el cálculo ilustrativo, se le asigna un valor de 1507 al valor relativo a la temperatura del efluente combinado en el cabezal colector secundario. Esta temperatura corresponde, por ejemplo, a la temperatura del efluente combinado medida mediante un sensor de temperatura en el cabezal colector secundario.

La etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos 4 puede comprender calcular una temperatura representativa para un efluente combinado de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes, en una segunda sección 12b de fila de tubos conectada operativamente al primer cabezal colector secundario 6a. El efluente de cada tubo 11 del que no se han formado imágenes en la segunda sección 12b de fila de tubos se combina en el primer cabezal colector secundario 6a, antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario 7. La temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes en la segunda sección 12 de fila de tubos se calcula a partir del valor relacionado con la temperatura del efluente combinado de los tubos 10 de los que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos.

Tanto el efluente de la primera sección 12a de fila de tubos como el efluente de la segunda sección 12b de fila de tubos contribuyen al valor relativo a la temperatura del efluente combinado en el cabezal colector secundario. La contribución de la primera sección 12a de fila de tubos se resta del valor relativo a la temperatura del efluente combinado, para determinar la contribución de la segunda sección 12b de fila de tubos. Para la ilustración se utilizará un método de media simple, pero alternativamente pueden usarse relaciones más complejas. La temperatura media para el efluente combinado de la primera sección de fila de tubos y la segunda sección de fila de tubos es 1507. La temperatura representativa para un efluente combinado de los tubos 10 de los que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos es 1518. Luego, la temperatura representativa para un efluente combinado de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes en la segunda sección 12b de fila de tubos es 1496 (es decir, una media de 1518 para los tubos de los que se han formado imágenes y de 1507 para el efluente combinado tanto de los tubos de los que se han formado imágenes como de los tubos de los que no se han formado imágenes).

La etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos 4 puede comprender determinar una primera relación de temperaturas, entre la temperatura de efluente representativa para cada tubo 10 del que se han formado imágenes, en la primera sección 12a de fila de tubos, y la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos 10 de los que se han formado imágenes de la primera sección 12a de fila de tubos, basándose en la posición de los tubos. A modo de ilustración, la primera relación de temperaturas será la diferencia relativa entre la temperatura de efluente representativa para un tubo y la temperatura representativa para el efluente combinado en la sección de fila de tubos. Así, por ejemplo, la diferencia de temperatura de efluente para el tubo en la primera sección 12a de fila de tubos más cercana al cabezal primario 7 es +12 (es decir, 1530-1518). La diferencia de temperatura de efluente para el tubo en el medio es 0 (es decir, 1518-1518). La diferencia de temperatura de efluente para el tubo más cercano a la pared del horno es -12 (es decir, 1506-1518). El perfil de diferencia de temperaturas de efluente desde el cabezal primario 7 hasta la pared del horno es (+12, 0, -12).

La etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos 4 puede comprender formular una segunda relación de temperaturas entre una temperatura de efluente representativa para cada tubo 11 del que no se han formado imágenes, en la segunda sección 12b de fila de tubos, y la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes en la segunda sección 12b de fila de tubos. La segunda relación de temperaturas puede formularse utilizando al menos la primera relación de temperaturas, basándose en la posición relativa de los tubos en el horno.

Con fines ilustrativos, la segunda relación de temperaturas utilizará las diferencias de temperatura de efluente de la primera relación de temperaturas, basándose en las posiciones relativas de los tubos. Para la segunda relación de temperaturas, al efluente del tubo del que no se han formado imágenes, en la segunda sección 12b de fila de tubos, más cercano al cabezal primario 7 se le asignará un valor de diferencia de temperatura de +12, al efluente del tubo intermedio del que no se han formado imágenes un valor de diferencia de temperatura de 0, y al efluente del tubo del que no se han formado imágenes, en la segunda sección 12b de fila de tubos, más cercano a la pared del horno un valor de diferencia de temperatura de -12. Este es el mismo perfil de diferencia de temperatura de efluente determinado para los tubos de los que se han formado imágenes, en función de su posición en el horno (+12, 0, -12).

La etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos 4 puede comprender calcular la temperatura de efluente representativa para cada tubo 11 del que no se han formado imágenes, en la segunda sección 12b de fila de tubos, a partir de la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes, en la segunda sección 12b de fila de tubos, y la segunda relación de temperaturas.

Utilizando el perfil de diferencia de temperaturas determinado para los tubos de los que no se han formado imágenes (+12, 0, 12) y la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes, en la segunda sección 12b de fila de tubos (es decir, 1496), la temperatura de efluente representativa para el tubo del que no se han formado imágenes más cercano al cabezal primario 7 es 1508 (es

decir, 1496 + 12), la temperatura de efluente representativa para el tubo intermedio del que no se han formado imágenes es 1496 (es decir, 1496 + 0), y la temperatura de efluente representativa para el tubo del que no se han formado imágenes más cercano a la pared del horno es 1484 (es decir, 1496-12). Estos valores para las temperaturas de efluente representativas se muestran en la FIG. 4.

5 La etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes, de la pluralidad de tubos 4, puede comprender calcular la información de temperatura para los tubos 11 de los que no se han formado imágenes a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo 11 del que no se han formado imágenes, en la segunda sección 12b de fila de tubos, y una correlación que proporcione la información de temperatura para los tubos 11 de los que no se han formado imágenes a partir de las temperaturas de efluente representativas.

15 La correlación que proporciona la información de temperatura para los tubos 11 de los que no se han formado imágenes a partir de las temperaturas de efluente representativas se puede derivar de modelos y/o datos de un horno. Estos pueden ser los mismos modelos y/o datos utilizados para desarrollar la correlación que proporciona temperaturas de efluente representativas a partir de valores representativos de la medida de tendencia central.

20 Para este cálculo ilustrativo, se asumirá una correlación simple entre la temperatura de los tubos y la temperatura de efluente cuando la temperatura de los tubos sea 70 mayor que la temperatura del efluente. Entonces, se observa que la información de temperatura para los tubos de los que no se han formado imágenes es 1578 (es decir, 1508 + 70) para el tubo más cercano al cabezal primario, 1566 (es decir, 1496 + 70) para el tubo intermedio, y 1554 (es decir, 1484+ 70) para el tubo más cercano a la pared del horno.

25 La segunda relación de temperaturas puede formularse utilizando una tercera relación de temperaturas basada en las temperaturas y la posición relativa de los tubos de otra fila adyacente de tubos en el horno, además de la primera relación de temperaturas. Esta extensión del cálculo ilustrativo se describe con referencia a la FIG. 5. Las temperaturas del efluente del segmento de fila de tubos adyacente son 1600, 1500 y 1460. El valor de la temperatura media para este segmento de fila de tubos es 1520. El perfil de diferencia de temperatura con respecto a la temperatura media para este segmento de fila de tubos es (+80, -20, -60).

30 La segunda relación de temperaturas puede ser una combinación ponderada del perfil de diferencia de temperatura para la primera relación de temperaturas y el perfil de diferencia de temperatura para la tercera relación de temperaturas. Para este cálculo ilustrativo, asumiremos una ponderación igual.

35 El perfil de diferencia de temperatura determinado para los tubos de los que se han formado imágenes, en función de su posición en el horno, para la primera relación de temperaturas fue (+12, 0, -12). Entonces, la diferencia de temperatura para el tubo más cercano al cabezal colector primario 7 es $(0,5)*80+(0,5)*12=+46$. Del mismo modo, para el tubo intermedio la diferencia de temperatura es $(0,5)*-20+(0,5)*0=-10$, y para el tubo más cercano a la pared del horno es $(0,5)*-60+(0,5)*-12=-36$. Entonces, el perfil de diferencia de temperatura determinado para los tubos de los que no se han formado imágenes es (+46, -10, -36). Las temperaturas de efluente representativas resultantes se calculan a partir de la temperatura media de 1496, y son 1542, 1486 y 1460, y los valores se muestran en la FIG. 5.

45 El cálculo puede extenderse adicionalmente para incluir contribuciones ponderadas de tubos más alejados de los tubos de los que no se han formado imágenes, si se desea. Aunque en el cálculo ilustrativo la información de temperatura para los tubos de los que no se han formado imágenes se determinó usando información de temperatura de tubos adyacentes de los que se han formado imágenes, pueden incluirse efectos secundarios usando temperaturas de tubos más alejados, si se desea.

50 La información de temperatura para los tubos 11 de los que no se han formado imágenes 1 puede calcularse como antes, a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo 11 del que no se han formado imágenes y una correlación que proporcione la información de temperatura para los tubos 11 de los que no se han formado imágenes, a partir de las temperaturas de efluente representativas.

55 Los cálculos ilustrativos mostrados en el presente documento son solo ejemplos de cómo puede calcularse la información de temperatura para las temperaturas de los tubos de los que no se han formado imágenes, usando el valor relacionable con la temperatura del efluente combinado (es decir, una temperatura medida en el cabezal colector secundario) y el valor representativo de la medida de tendencia central para los tubos de los que se han formado imágenes.

60 El cálculo puede simplificarse ligeramente si diferentes filas de tubos no comparten un cabezal secundario común, pero el enfoque es similar. Con referencia a la FIG. 6 y la FIG. 7 se muestra un cálculo ilustrativo. En la FIG. 6 y la FIG. 7, un primer cabezal colector secundario 6a está conectado operativamente a un primer grupo de la pluralidad de tubos 4, que consiste en una primera sección 12a de fila de tubos. Un segundo cabezal colector secundario 6c está conectado operativamente a un segundo grupo de la pluralidad de tubos 4, que consiste en una segunda sección 12b de fila de tubos.

65

La etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes, de la pluralidad de tubos 4, puede comprender calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo 10 del que se han formado imágenes en una primera sección 12a de fila de tubos. Cada tubo 10 del que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos está conectado operativamente a un primer cabezal colector secundario 6a, y el efluente de cada tubo 10 del que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos se combina en el primer cabezal colector secundario 6a antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario 7. La temperatura de efluente representativa para cada tubo 10 del que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos puede calcularse a partir de una correlación, usando el valor representativo de la medida de tendencia central para cada tubo 10 del que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos.

Esta etapa matemática se describe con referencia a la FIG. 6 y la FIG. 7. La FIG. 6 ilustra un horno simplificado con temperaturas de tubo hipotéticas. A un subconjunto de tubos 10a de los que se han formado imágenes se le asignan temperaturas de 1600, 1588 y 1576. Las temperaturas de los tubos 11a de los que no se han formado imágenes son las temperaturas que deben predecirse a partir de las temperaturas de los tubos 10a de los que se han formado imágenes y la temperatura combinada del efluente.

Para este cálculo ilustrativo, se asumirá una correlación simple entre la temperatura de efluente y la temperatura de los tubos, donde la temperatura de efluente es 70 grados menos que la temperatura de los tubos. Entonces, la temperatura de efluente representativa para cada tubo del que se han formado imágenes en la sección de fila de tubos es 1530, 1518 y 1506. Estos valores para las temperaturas de efluente se muestran en la FIG. 7.

La etapa de medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios 6 puede incluir medir un valor relacionado con una temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario 6a. El valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario 6a deberá ser aproximadamente equivalente al valor combinado para las temperaturas de efluente representativas para cada tubo del que se han formado imágenes en la sección de fila de tubos. La comparación puede usarse para proporcionar una indicación de la corrección de la correlación, utilizada para determinar la temperatura de efluente a partir de la temperatura de los tubos. Para este ejemplo ilustrativo, el valor medio para las temperaturas de efluente representativas y el valor medido relacionable con la temperatura del efluente combinado, en el primer cabezal colector secundario 6a, son los mismos, 1518.

La etapa de medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios 6 puede incluir medir un valor relacionado con la temperatura de un efluente combinado, en un segundo cabezal colector secundario 6c. Como se muestra en la FIG. 6 y la FIG. 7, una segunda sección 12b de fila de tubos de tubos 11 de los que no se han formado imágenes está conectada operativamente al segundo cabezal colector secundario 6c. El efluente de cada tubo 11 del que no se han formado imágenes en la segunda sección 12b de fila de tubos se combina en el segundo cabezal colector secundario 6c antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario 7.

La etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos 4 puede comprender determinar una primera relación de temperaturas, siendo la primera relación de temperaturas aquella entre la temperatura de efluente representativa para cada tubo 10 del que se han formado imágenes en la primera sección 12a de fila de tubos, basándose en la posición de los tubos, y el valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario 6a. A modo de ilustración, la primera relación de temperaturas será la diferencia relativa entre la temperatura de efluente representativa para un tubo y el valor relativo a la temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario 6a. Entonces, por ejemplo, la diferencia de temperatura de efluente para el tubo en la primera sección 12a de fila de tubos más cercano al cabezal primario 7 es +12 (es decir, 1530-1518). La diferencia de temperatura de efluente para el tubo intermedio es 0 (es decir, 1518-1518). La diferencia de temperatura del efluente para el tubo más cercano a la pared del horno es -12 (es decir, 1506-1518). El perfil de diferencia de temperatura de efluente desde el cabezal primario 7 hasta la pared del horno es (+12, 0, -12).

La etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes, de la pluralidad de tubos 4, puede comprender formular una segunda relación de temperaturas, siendo la segunda relación de temperaturas aquella entre una temperatura de efluente representativa para cada tubo 11 del que no se han formado imágenes en la segunda sección 12b de fila de tubos y el valor relacionable con la temperatura del efluente combinado en el segundo cabezal colector secundario 6c (es decir, 1520). La segunda relación de temperaturas se formula utilizando al menos la primera relación de temperatura, basándose en la posición relativa de los tubos en el horno.

Por fines ilustrativos, la segunda relación de temperaturas utilizará las diferencias de temperatura de efluente de la primera relación de temperaturas, basándose en las posiciones relativas de los tubos. Para la segunda relación de temperaturas, al efluente del tubo del que no se han formado imágenes en la segunda sección 12b de fila de tubos más cercano al cabezal primario 7 se le asignará un valor de diferencia de temperatura de + 12, al efluente del tubo intermedio del que no se han formado imágenes una diferencia de temperatura valor de 0, y al efluente del tubo del

que no se han formado imágenes en la segunda sección 12b de fila de tubos más cercano a la pared del horno un valor de diferencia de temperatura de -12. Este es el mismo perfil de diferencia de temperatura de efluente determinado para los tubos de los que se han formado imágenes, basándose en su posición en el horno (+12, 0, -12).

5 La etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos 4 puede comprender calcular la temperatura de efluente representativa para cada tubo 11 del que no se han formado imágenes, en la segunda sección 12b de fila de tubos, a partir del valor relacionable con la temperatura del efluente combinado en el segundo cabezal colector secundario 6c y la segunda relación de temperaturas.

15 Utilizando el perfil de diferencia de temperatura determinado para los tubos de los que no se han formado imágenes (+12, 0, -12) y el valor relativo a la temperatura del efluente combinado en el segundo cabezal colector secundario 6c (es decir, 1520), la temperatura de efluente representativa para el tubo del que no se han formado imágenes más cercano al cabezal primario 7 es 1520+12 (es decir, 1532), la temperatura de efluente representativa para el tubo intermedio del que no se han formado imágenes es 1520+0 (es decir, 1520), y la temperatura de efluente representativa para el tubo del que no se han formado imágenes más cercano a la pared del horno es 1520-12 (es decir, 1508). Estos valores para las temperaturas de efluente representativas se muestran en la FIG. 7.

20 La etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes, de la pluralidad de tubos 4, puede comprender calcular la información de temperatura para los tubos 11 de los que no se han formado imágenes a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo 11 del que no se han formado imágenes, en la segunda sección 12b de fila de tubos, y una correlación que proporciona la información de temperatura para los tubos 11 de los que no se han formado imágenes a partir de las temperaturas de efluente representativas.

25 La correlación que proporciona la información de temperatura para los tubos 11 de los que no se han formado imágenes a partir de las temperaturas de efluente representativas puede derivarse de modelos y/o datos de un horno. Estos pueden ser los mismos modelos y/o datos utilizados para desarrollar la correlación, que proporcionan temperaturas de efluente representativas a partir de valores que representan la medida de tendencia central.

30 Para este cálculo ilustrativo, se asumirá una correlación simple entre la temperatura de los tubos y la temperatura de efluente cuando la temperatura de los tubos sea 70 grados mayor que la temperatura de efluente. Entonces, se observa que la información de temperatura para los tubos de los que no se han formado imágenes es 1602 (es decir, 1532+70) para el tubo más cercano al cabezal primario, 1590 (es decir, 1520+70) para el tubo intermedio, y 1578 (es decir, 1508+70) para el tubo más cercano a la pared del horno.

35 El método puede aprovechar mediciones de temperatura suplementarias, por ejemplo, de un pirómetro óptico o un dispositivo similar. La FIG. 1 muestra un pirómetro óptico 15.

40 El método puede comprender adicionalmente medir un valor relacionado con la temperatura de la pared de un tubo, para uno o más de la pluralidad de tubos 4 ubicados dentro del horno 1, por ejemplo con un pirómetro óptico 15. La pared de tubo puede ser de un tubo 10 del que se han formado imágenes o de un tubo 11 del que no se han formado imágenes.

45 El valor relacionado con la temperatura de la pared de tubo para el uno o más de la pluralidad de tubos también puede procesarse para obtener la información de temperatura para al menos el subconjunto 11a de los tubos 11 de los que no se han formado imágenes, de la pluralidad de tubos 4, donde al menos el subconjunto 11a de tubos 11 de los que no se han formado imágenes comprende tubos de los que no se han formado imágenes, donde el valor relacionado con la temperatura de la pared de tubo no se midió (es decir, la información de temperatura del pirómetro óptico se usa para obtener la información de temperatura para algunos tubos de los que no se han formado imágenes, que no se midieron con el pirómetro óptico).

50 El dispositivo de formación térmica de imágenes puede moverse a un visor diferente 2, para capturar una o más imágenes digitales del área interior del horno 1. La una o más imágenes digitales pueden comprender datos de píxel asociados con un subconjunto diferente de la pluralidad de tubos 4 posicionados dentro del horno 1. Puede identificarse una pluralidad de tubos de los que se han formado imágenes en la una o más imágenes digitales procedentes del visor diferente. Las etapas restantes del método pueden aplicarse mutatis mutandis. Los datos históricos para tubos de los que se han formado imágenes y/o tubos de los que no se han formado imágenes con el dispositivo de formación térmica de imágenes, capturados desde el visor anterior, pueden usarse en la formulación de la primera relación de temperaturas entre la temperatura de efluente representativa para cada tubo del que se han formado imágenes y/o la segunda relación de temperaturas entre la temperatura de efluente representativa para cada tubo del que no se han formado imágenes.

65 La información de temperatura para tubos de los que se han formado imágenes y tubos de los que no se han formado imágenes en el horno 1 puede mostrarse como un gráfico de contorno u otra representación gráfica

adecuada (de color). La FIG. 9 muestra una gráfica de contorno ejemplar de la información de diferencia de temperatura para los tubos 4 de un horno 1, en una elevación predeterminada. La gráfica puede identificar tubos de proceso individuales y filas.

5 El método descrito en el presente documento puede aplicarse a una pluralidad de elevaciones dentro del horno 1, y puede usarse para generar una vista tridimensional o una representación de datos de temperatura. Los visores 2 pueden estar ubicados en las porciones superior e inferior del horno 1. Llevar a cabo el método descrito anteriormente con ambos visores en las porciones superior e inferior del horno 1 permite generar una gráfica para la porción superior y la porción inferior del horno 1. En la gráfica tridimensional pueden incorporarse cálculos
10 adicionales que incorporen diferencias anticipadas de temperatura en las diversas elevaciones, utilizando correlaciones y/o modelos. Incorporar las diferencias anticipadas en las temperaturas permite que la gráfica tenga en cuenta las anomalías en tubos 4 específicos. A partir de las imágenes pueden analizarse múltiples filas de segmentos en diferentes elevaciones. El uso de múltiples segmentos a diferentes elevaciones también puede utilizarse para generar una representación tridimensional de la información de temperatura.

15 Ciertas realizaciones dentro del alcance del presente método incluyen productos de programa que comprenden medios legibles por máquina, para soportar o incluir instrucciones o estructuras de datos ejecutables por máquina almacenadas en los mismos. Dichos medios legibles por máquina pueden ser cualquier medio disponible al que pueda accederse mediante un ordenador de propósito general o de propósito especial, u otra máquina con un procesador. A modo de ejemplo, tales medios legibles por máquina pueden comprender RAM, ROM, EPROM, EEPROM, CD-ROM u otro tipo de almacenamiento en disco óptico, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que pueda usarse para soportar o almacenar un código de programa deseado, en forma de instrucciones ejecutables por máquina o estructuras de datos, y al que pueda accederse mediante un ordenador de propósito general o de propósito especial, u otra máquina que incluya
20 un procesador. Cuando la información se transfiere o proporciona a través de una red u otra conexión de comunicaciones (ya sea cableada, inalámbrica o una combinación de cableada o inalámbrica) a una máquina, la máquina visualizará correctamente la conexión como un medio legible por la máquina. Así, cualquier conexión de este tipo se denomina correctamente medio legible por máquina. Las combinaciones de los anteriores también se incluyen dentro del alcance de los medios legibles por máquina. Las instrucciones ejecutables por máquina comprenden, por ejemplo, instrucciones y datos que hagan que un ordenador de propósito general, ordenador de propósito especial o máquinas de procesamiento de propósito especial desempeñen una determinada función o grupo de funciones.

25 Contar con información de temperatura para la pluralidad de tubos en el horno puede resultar importante para el control del horno. Los caudales de oxidante (aire) y/o combustible a los quemadores 3 pueden ajustarse en respuesta a la determinación de la información de temperatura para la pluralidad de tubos.

30 Contar con información de temperatura para la pluralidad de tubos en el horno puede resultar importante para mejorar la eficiencia y la fiabilidad del horno, evitando fallas prematuras de los tubos y la subsiguiente interrupción de la producción. El funcionamiento del horno generalmente está limitado por la temperatura más alta de los tubos, mientras que la eficiencia está relacionada con la temperatura media de los tubos. Resultan preferibles las temperaturas de tubo uniformes en todo el horno, incluso durante los cambios en las condiciones de operación (tasas de producción, cambios en las propiedades de alimentación y otros parámetros de control). La información de temperatura semicontinua en todo el horno ayuda al/la operario/a a mantener temperaturas medias altas en los
35 tubos sin que haya sobrecalentamiento, lo que proporciona una alta eficiencia operativa. La vida útil de los tubos depende de la temperatura de funcionamiento del tubo metálico. Contar con un registro de temperatura de paredes del horno durante el periodo de trabajo del horno permitirá una estimación más precisa de la vida útil de los tubos.

50 Ejemplo

Se obtuvieron imágenes térmicas para un horno reformador que tenía 8 filas de tubos, con 46 tubos por fila. Se instalaron dispositivos de formación térmica de imágenes, de manera que todos los tubos en el horno fueran tubos de los que se forman imágenes.

55 Los cabezales colectores secundarios recolectan el efluente de los respectivos pares de medias filas de tubos, como se muestra en las FIGS. 1, 2 y 3. Las temperaturas para el efluente combinado para cada cabezal colector secundaria se midieron usando un termopar.

60 La FIG. 8 muestra una gráfica de contorno ejemplar de la diferencia de temperatura medida para los tubos, en relación con una temperatura de referencia en una elevación seleccionada del horno. Se capturó un complemento completo de imágenes, de tal manera que no hubiera tubos de los que no se hubieran formado imágenes para la gráfica de contorno de la FIG. 8.

65 El presente método se ilustra utilizando la información de solo dos dispositivos de formación térmica de imágenes, instalados en los visores situados entre la fila 2 y la fila 3 y entre la fila 6 y la fila 7, y las temperaturas medidas en los cabezales colectores secundarios. En consecuencia, las filas 2, 3, 6 y 7 son filas de tubos de los que se han formado

imágenes y las filas 1, 4, 5 y 8 son filas de tubos de los no que se han formado imágenes.

5 El presente método se utiliza para determinar las temperaturas de los tubos (hipotéticos) de los que no se han formado imágenes. Los resultados se trazan en la FIG. 9, que muestra una gráfica de contorno ejemplar de la diferencia de temperatura para los tubos, en relación con la misma temperatura de referencia utilizada en la FIG. 8, en la misma elevación seleccionada del horno. En la FIG. 9, los contornos de temperatura se obtuvieron utilizando el presente método.

10 A partir de la FIG. 8 y la FIG. 9 resulta evidente que los contornos de temperatura se parecen mucho entre sí, y que con el método actual se capturan muy bien las zonas de frío y calor. Los mapas de temperatura obtenidos con el presente método son satisfactorios para guiar el funcionamiento del horno, y para evaluar la vida útil de los tubos.

15 Si bien solo se han mostrado y descrito ciertas características y realizaciones de la invención, los expertos en la técnica podrán idear muchas modificaciones y cambios (por ejemplo, variaciones en los tamaños, dimensiones, estructuras, formas y proporciones de los diversos elementos, valores de los parámetros (por ejemplo, temperaturas, presiones, etc.), disposiciones de montaje, uso de materiales, colores, orientaciones, etc.) sin apartarse materialmente de las enseñanzas y ventajas novedosas del tema descrito en las reivindicaciones. El orden o la secuencia de cualquier proceso o etapas del método pueden variarse o volver a secuenciarse, de acuerdo con realizaciones alternativas. Por lo tanto, debe comprenderse que las reivindicaciones adjuntas están destinadas a cubrir todas estas modificaciones y cambios. Adicionalmente, en un esfuerzo por proporcionar una descripción concisa de las realizaciones ejemplares, es posible que no se hayan descrito todas las características de una implementación real (es decir, aquellas no relacionadas con el mejor modo actualmente contemplado para llevar a cabo la invención, o aquellas no relacionadas con la invención reivindicada). Debe apreciarse que, en el desarrollo de cualquiera de estas implementaciones reales, tal como en cualquier proyecto de ingeniería o diseño, pueden tomarse numerosas decisiones específicas de implementación. Tal esfuerzo de desarrollo podría resultar complejo y requerir mucho tiempo, pero, sin embargo, sería una tarea rutinaria de diseño, construcción y fabricación para los expertos en la materia, con el beneficio de la presente divulgación, sin experimentación indebida.

20

25

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar la información de temperatura para una pluralidad de tubos (4) en un horno (1), comprendiendo el método:

5 capturar una o más imágenes digitales de un área interior del horno (1), donde la una o más imágenes digitales comprenden datos de píxel asociados con un subconjunto de la pluralidad de tubos (4) situados dentro del horno (1);
 10 identificar en una o más imágenes digitales una pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes en el subconjunto de la pluralidad de tubos (4), comprendiendo la pluralidad de tubos (4) los tubos (10) de los que se han formado imágenes y tubos (11) de los no que se han formado imágenes, detectándose en la una o más imágenes digitales los tubos (10) de los que se han formado imágenes, detectándose en la una o más imágenes digitales los tubos (11) de los no que se han formado imágenes;
 15 procesar una porción de los datos de píxel asociados con la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, para obtener un valor representativo de una medida de tendencia central para al menos un subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, en la una o más imágenes digitales;
 20 procesar el valor que representa la medida de tendencia central para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes;
 25 extraer un efluente de cada uno de la pluralidad de tubos (4);
 recolectar el efluente extraído de cada uno de la pluralidad de tubos en una pluralidad de cabezales colectores secundarios (6), estando cada uno de la pluralidad de cabezales colectores secundarios (6) conectado operativamente a un respectivo grupo de múltiples grupos de la pluralidad de tubos (4), formando el efluente recolectado en cada cabezal colector secundario (6) un respectivo efluente combinado en cada cabezal colector secundario (6);
 30 hacer pasar el efluente recolectado en cada respectivo cabezal colector secundario (6) a un cabezal colector primario (7);
 medir un valor relativo a una temperatura del efluente combinado en uno o más cabezales colectores secundarios (6a) de la pluralidad de cabezales colectores secundarios (6); y
 35 procesar el valor representativo de la medida de tendencia central para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, y el valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6a), para obtener información de temperatura para al menos un subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4).

2. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente medir un valor relacionado con una temperatura del efluente combinado para cada uno de uno o más cabezales colectores secundarios (6b) adicionales, de la pluralidad de cabezales colectores secundarios (6);
 40 donde el valor relacionado con la temperatura del efluente combinado para cada uno del uno o más cabezales colectores secundarios (6b) adicionales se procesa en la etapa de procesamiento, para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a, 11b) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes.

3. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2,

45 donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4) comprende:
 50 calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en una primera sección (12a) de fila de tubos, estando cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos conectado operativamente a un primer cabezal colector secundario (6a), donde el efluente de cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos se combina en el primer cabezal colector secundario (6a) antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7), donde la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos se calcula a partir de una correlación, utilizando el valor representativo de la medida de la tendencia central para cada tubo (10) del que se han formado imágenes, en la primera sección (12a) de fila de tubos, donde la correlación proporciona temperaturas de efluente representativas a partir de valores que representan la medida de tendencia central;
 55 y
 60 procesar la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos y el valor relativo a la temperatura del efluente combinado en uno o más cabezales colectores secundarios (6a);
 65 donde la etapa de medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6) comprende medir un valor relacionado con una temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario (6a).

4. El método de la reivindicación 3,

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4) comprende:

calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en una segunda sección (12b) de fila de tubos conectada operativamente al primer cabezal colector secundario (6a), calculándose la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos.

5. El método de la reivindicación 3,

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4) comprende:

calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en una segunda sección (12b) de fila de tubos, conectada operativamente a un segundo cabezal colector secundario (6c), calculándose la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos;

donde la etapa de medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6) comprende adicionalmente medir un valor relacionado con una temperatura del efluente combinado, en el segundo cabezal colector secundario (6a), donde el efluente de cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos se combina en el segundo cabezal colector secundario (6c) antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7).

6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4) comprende:

calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en una primera sección (12a) de fila de tubos, estando cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos conectado operativamente a un primer cabezal colector secundario (6a), donde el efluente de cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos se combina en el primer cabezal colector secundario (6a) antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7), donde la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos se calcula a partir de una correlación, utilizando el valor que representa la medida de la tendencia central para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos, donde la correlación proporciona temperaturas de efluentes representativas a partir de valores que representan la medida de tendencia central;

y
calcular una temperatura representativa para un efluente combinado de los tubos (10) de los que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos, utilizando la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos;

donde la etapa de medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6) comprende medir un valor relacionado con una temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario (6a); y

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4) comprende adicionalmente:

calcular una temperatura representativa para un efluente combinado de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes en una segunda sección (12b) de fila de tubos, conectada operativamente al primer cabezal colector secundario (6a), donde el efluente de cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos se combina en el primer cabezal colector secundario (6a) antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7), donde la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos se calcula a partir del valor relativo a la temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario (6a) y la temperatura representativa del efluente combinado de los tubos (10) de los que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos;

determinar una primera relación de temperaturas, siendo la primera relación de temperaturas aquella entre la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes, en la primera sección (12a) de fila de tubos, y la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos (10) de los que se han formado imagen en la primera sección (12a) de fila de tubos;

formular una segunda relación de temperaturas, siendo la segunda relación de temperaturas aquella entre una temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes, en la segunda sección (12b) de fila de tubos, y la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos, donde la segunda relación de temperaturas se formula utilizando al menos la primera relación de temperaturas; calcular la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos, a partir de la temperatura representativa para el efluente combinado de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos y la segunda relación de temperaturas; y
 calcular la información de temperatura para los tubos (11) de los que no se han formado imágenes a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes, en la segunda sección (12b) de fila de tubos, y una correlación que proporciona la información de temperatura para los tubos (11) de los que no se han formado imágenes a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos.

7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 y 5,

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4) comprende:

calcular una temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes, en una primera sección (12a) de fila de tubos, estando cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos conectado operativamente a un primer cabezal colector secundario (6a), donde el efluente de cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos se combina en el primer cabezal colector secundario (6a) antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7), donde la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos se calcula a partir de una correlación, utilizando el valor representativo de la medida de tendencia central para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos, donde la correlación proporciona temperaturas de efluentes representativas a partir de valores que representan la medida de tendencia central;

donde la etapa de medir un valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6) comprende:

medir un valor relacionado con una temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario (6a); y

medir un valor relacionado con la temperatura de un efluente combinado en un segundo cabezal colector secundario (6c), donde una segunda sección (12b) de fila de tubos, de tubos (11) de los que no se han formado imágenes, está conectada operativamente al segundo cabezal colector secundario (6c), donde el efluente de cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos se combina en el segundo cabezal colector secundario (6c) antes de hacer pasar el efluente combinado al cabezal colector primario (7); y

donde la etapa de procesamiento para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4) comprende adicionalmente:

determinar una primera relación de temperaturas, siendo la primera relación de temperaturas aquella entre la temperatura de efluente representativa para cada tubo (10) del que se han formado imágenes en la primera sección (12a) de fila de tubos y el valor relativo a la temperatura del efluente combinado en el primer cabezal colector secundario (6a);

formular una segunda relación de temperaturas, siendo la segunda relación de temperaturas aquella entre una temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes, en la segunda sección (12b) de fila de tubos, y el valor relativo a la temperatura del efluente combinado en el segundo cabezal colector secundario (6c), donde la segunda relación de temperaturas se formula utilizando al menos la primera relación de temperaturas;

calcular la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos a partir del valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el segundo cabezal colector secundario (6c) y la segunda relación de temperaturas; y

calcular la información de temperatura para los tubos (11) de los que no se han formado imágenes a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes, en la segunda sección (12b) de fila de tubos, y una correlación que proporciona la información de temperatura para los tubos (11) de los que no se han formado imágenes a partir de la temperatura de efluente representativa para cada tubo (11) del que no se han formado imágenes en la segunda sección (12b) de fila de tubos.

8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la etapa de procesar el valor que representa la medida de tendencia central para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes comprende determinar los valores de temperatura para al menos el subconjunto (10a)

de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, a partir del valor correspondiente que representa la medida de tendencia central para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes.

5 9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la etapa de procesar el valor que representa la medida de tendencia central para al menos el subconjunto (10a) de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes y el valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6a), para obtener información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes de la pluralidad de tubos (4), comprende determinar un
10 valor de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes a partir del valor que representa la medida de tendencia central para al menos el subconjunto (10a), de la pluralidad de tubos (10) de los que se han formado imágenes, y el valor relacionado con la temperatura del efluente combinado en el uno o más cabezales colectores secundarios (6a).

15 10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende adicionalmente:

medir un valor relativo a la temperatura de una pared de tubo para uno o más de la pluralidad de tubos (4) situados dentro del horno (1);

20 donde el valor relacionado con la temperatura de la pared de tubo para el uno o más de la pluralidad de tubos también se procesa para obtener la información de temperatura para al menos el subconjunto (11a) de los tubos (11) de los que no se han formado imágenes, de la pluralidad de tubos (4); y

25 donde al menos el subconjunto (11a) de tubos (11) de los que no se han formado imágenes comprende tubos de los que no se han formado imágenes, en los que no se midió el valor relacionado con la temperatura de la pared de tubo.

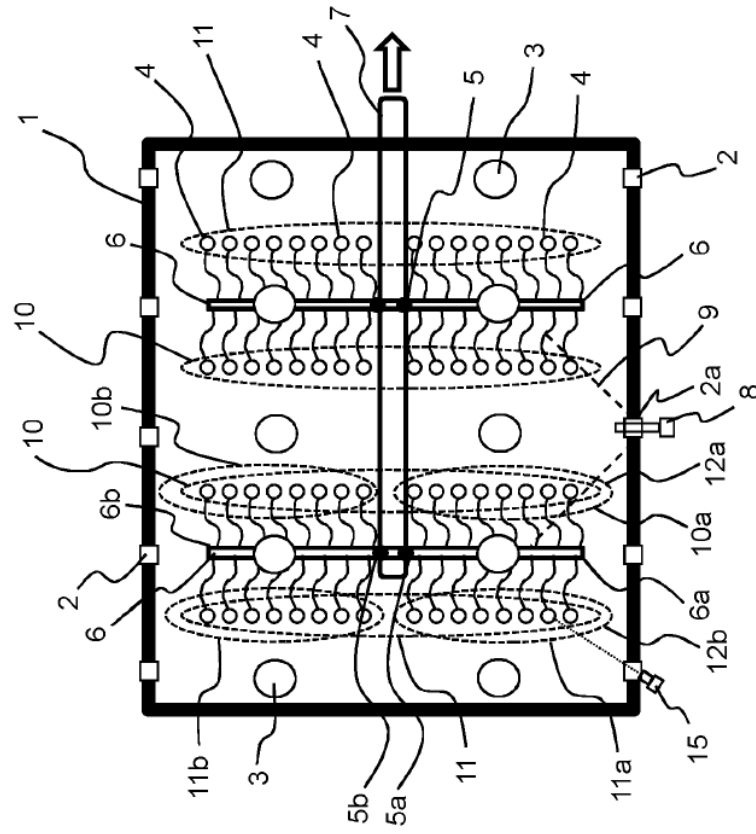


FIG. 1

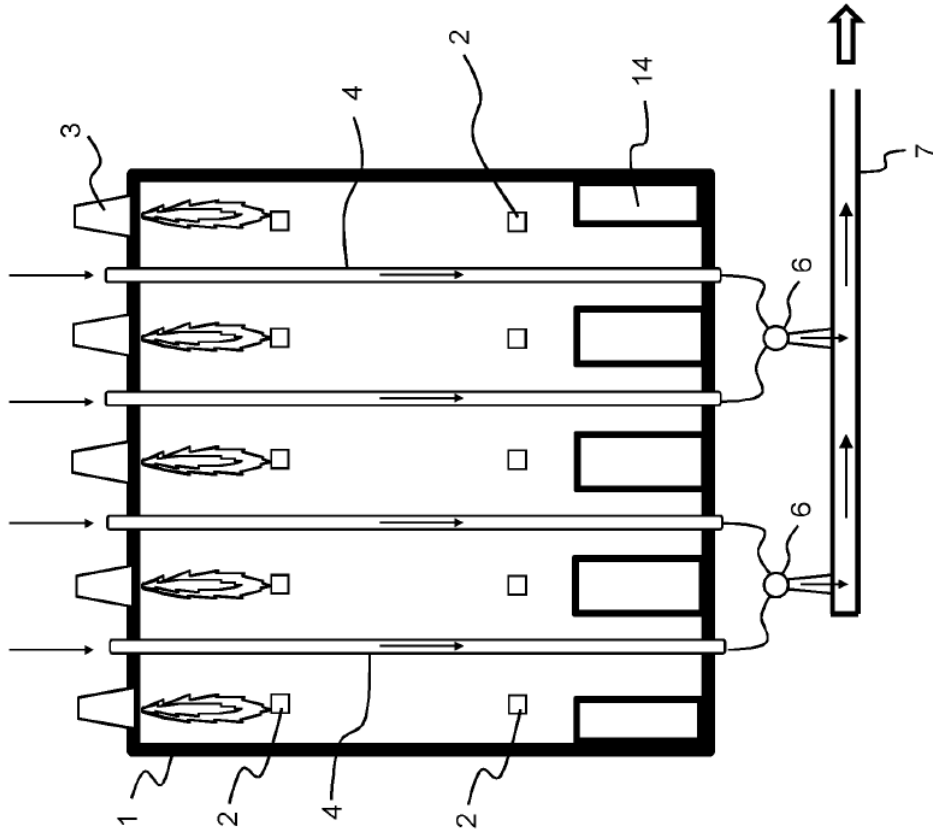


FIG. 2

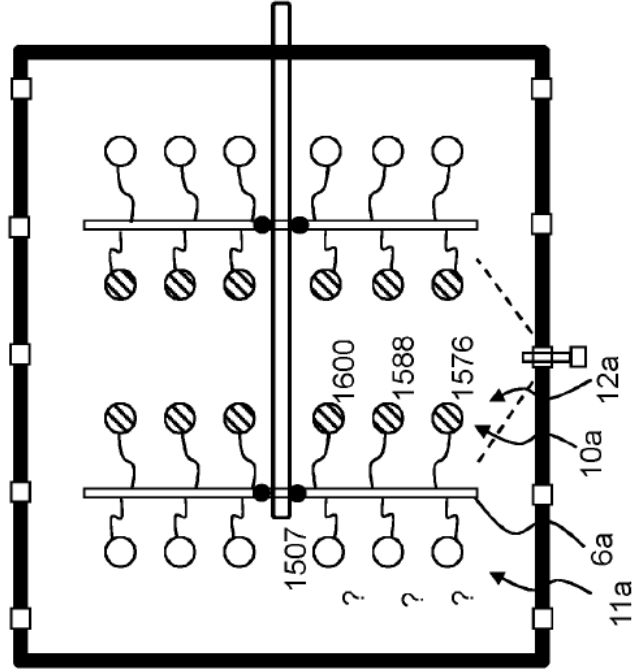


FIG. 3

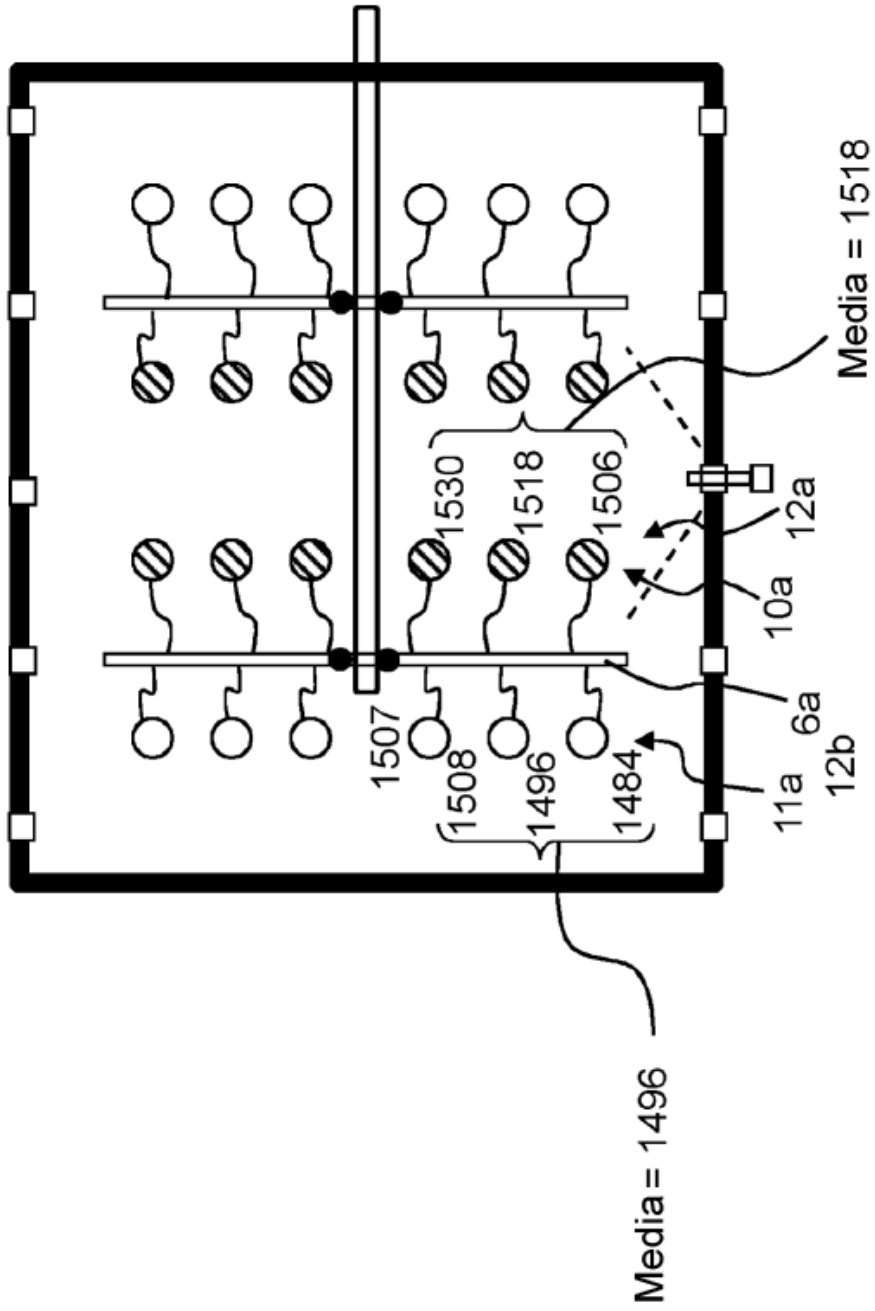


FIG. 4

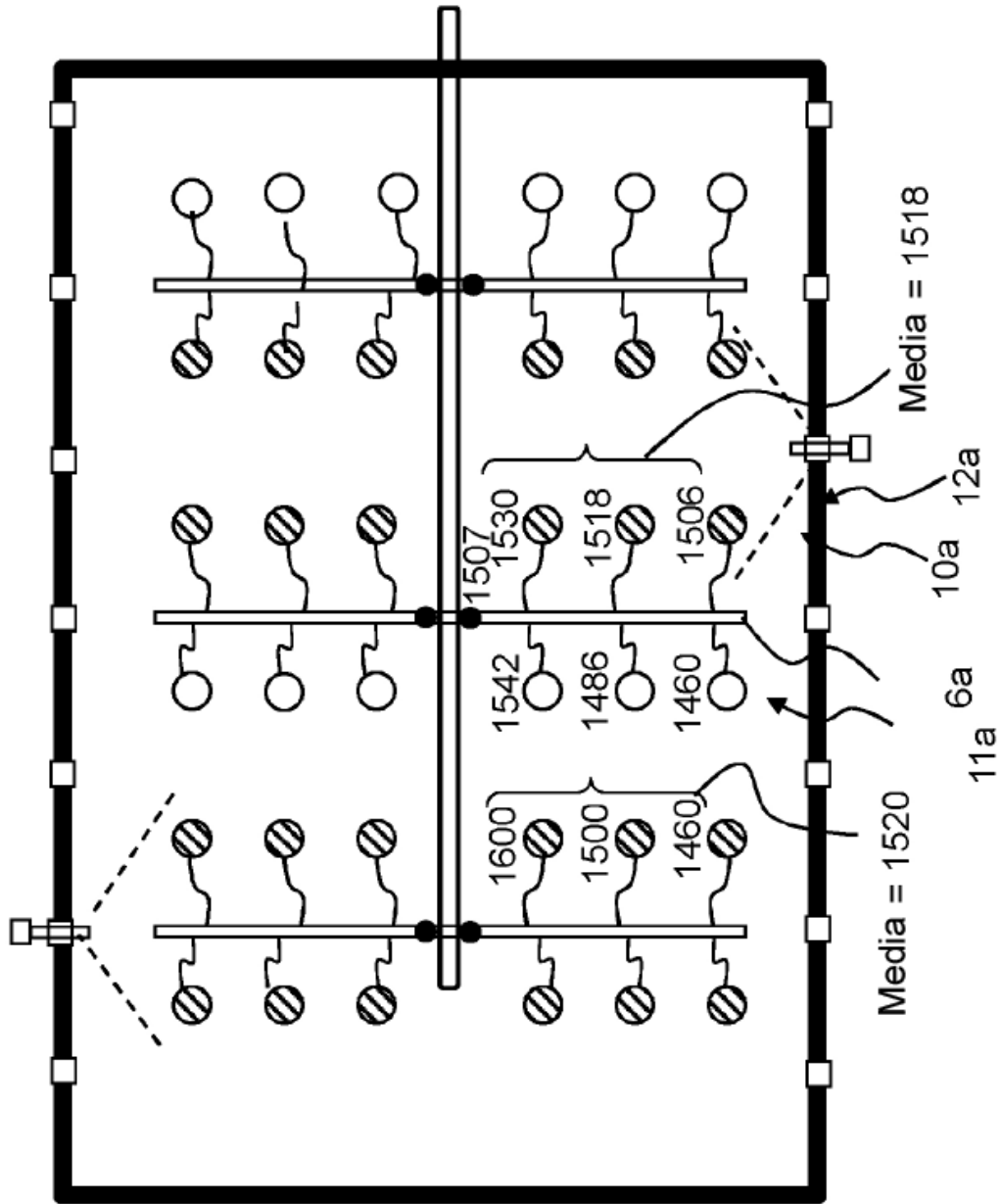


FIG. 5

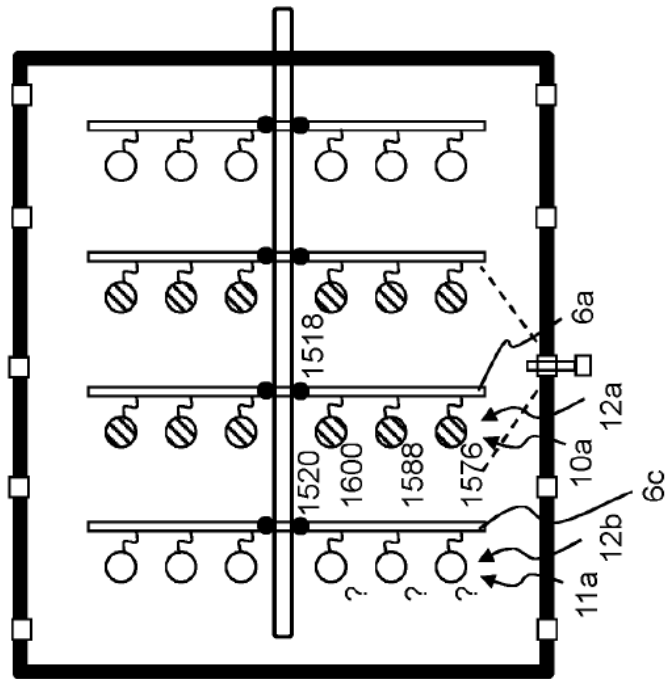


FIG. 6

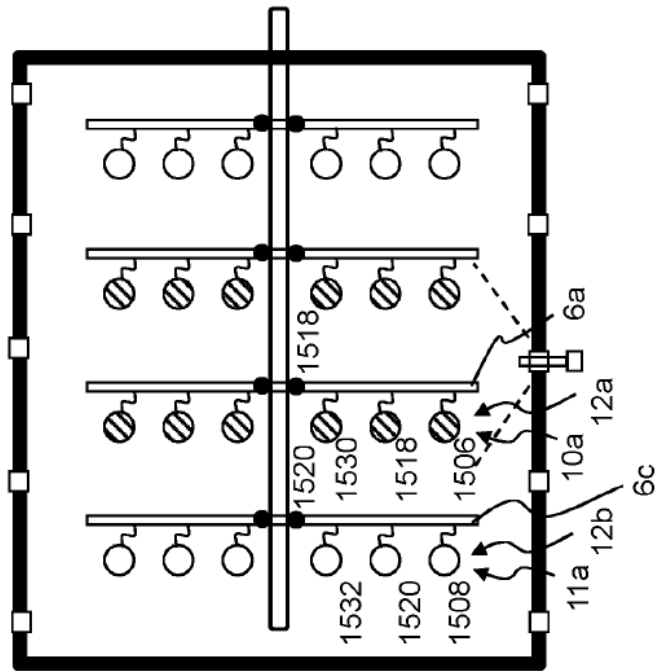


FIG. 7

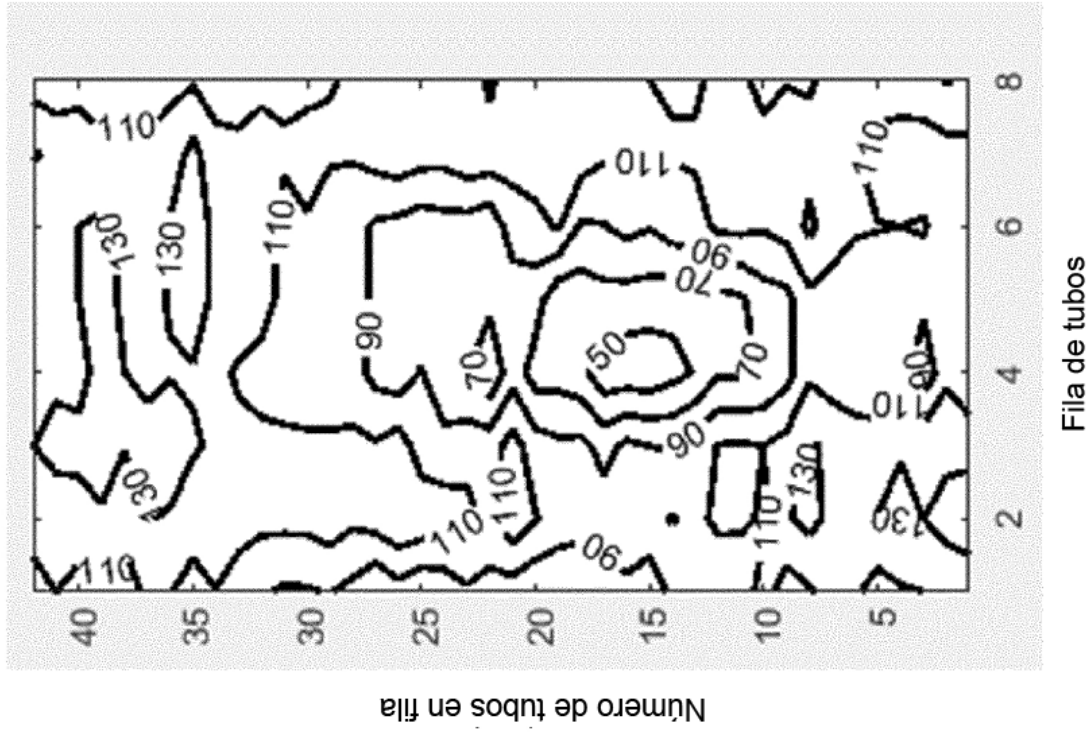


FIG. 8

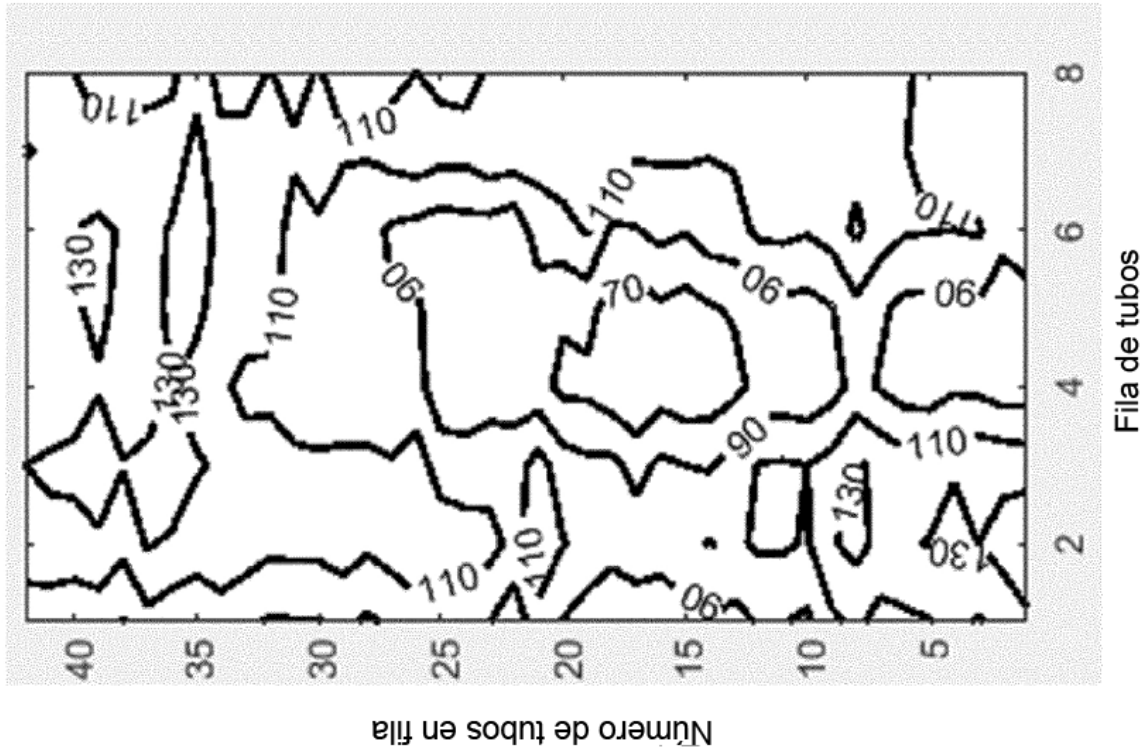


FIG. 9