

DISPOSITIVO DE CALENTAMIENTO INTEGRADO CON QUEMADOR POROSO

CAMPO DE LA INVENCION

5

El presente desarrollo se relaciona con intercambiadores de calor de contacto indirecto, en particular, con intercambiadores de tubos sumergidos que emplean medios porosos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10

Los intercambiadores de calor son equipos comúnmente utilizados en la industria para transferir calor de un fluido a otro en cualquier punto donde lo requiera un proceso. De esta manera, existen distintos sistemas de calentamiento de uso común en aplicaciones industriales, uno de ellos consiste en los sistemas centralizados de producción de vapor que, junto con un conjunto de redes de distribución, suministra calor a los equipos que lo requieran, satisfaciendo las necesidades de uno o varios procesos. No obstante, este tipo de soluciones es altamente ineficiente cuando el objetivo es proporcionar calor a un único fluido, puesto que el sistema centralizado está diseñado para múltiples procesos simultáneos y genera pérdidas de energía considerables a través de las paredes de los ductos de distribución, disminuyendo la eficiencia del proceso.

20

Ahora bien, otro tipo de sistemas de calentamiento corresponde a los intercambiadores de calor indirecto, en donde la transferencia de calor se da a través de una superficie que separa a los dos fluidos. Este tipo de intercambiadores es especialmente utilizado en aplicaciones en las que los fluidos no pueden mezclarse para evitar contaminación entre ellos. Así pues, dentro de este tipo de dispositivos se encuentran aquellos que incorporan disposiciones de tubos inmersos, en donde la transferencia de calor se da principalmente por conducción desde las paredes de uno o varios tubos por donde fluye el fluido caliente. No obstante, estas configuraciones aplicadas a volúmenes medianos o pequeños son poco eficientes, toda vez que el fluido caliente recorre rápidamente la porción de tubo sumergida, sin alcanzar a entregar al sistema toda su energía disponible. Adicionalmente, estas configuraciones presentan un gradiente de temperatura importante en las paredes del tubo en la dirección de flujo del fluido caliente, resultando en una transferencia de calor no uniforme hacia el fluido que se desea calentar.

25

30

Por otra parte, otros sistemas de calentamiento industriales actuales, con el fin de mejorar la tasa de transferencia de calor, emplean espumas de metal, mallas de alambre o estructuras huecas para incrementar el área de contacto superficial. Sin embargo, éstas
5 por lo general se encuentran localizadas en contacto directo con el fluido a calentar, lo que puede inducir contaminación al sistema.

Existe entonces en la técnica la necesidad de un intercambiador de calor indirecto de tubos inmersos que integre de manera eficiente medios porosos, en donde se pueda
10 realizar directamente la reacción de combustión, proporcionando una transferencia de calor uniforme hacia el fluido, aprovechando eficazmente el poder calorífico del gas de combustión, y disminuyendo las pérdidas de calor por transporte.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El presente desarrollo se refiere a un dispositivo de calentamiento de fluidos, más específicamente un intercambiador de calor de gas a líquido, que emplea un lecho de medios porosos. Especialmente, el dispositivo desarrollado comprende una cámara principal de fluido por donde circula el fluido a calentar, que cuenta además con un
20 arreglo de una o más cámaras de combustión, en donde hace combustión una mezcla de combustible y comburente, en presencia de un lecho de medios porosos. Así pues, la transferencia de calor entre los fluidos se da de manera indirecta, por conducción y convección, únicamente a través de la pared de las cámaras de combustión sumergidas, ya que el lecho de medios porosos se encuentra dentro de la cámara y no entra en
25 contacto con el fluido a calentar.

Ahora bien, de acuerdo con el presente desarrollo, la configuración de la una o más cámaras de combustión en relación con la cámara de fluido permite que la combustión del combustible se dé justamente en la porción sumergida de la cámara de combustión que
30 comprende el lecho de medios porosos, de esta manera, al no existir pérdidas por distribución de los gases calientes, se mejora la eficiencia de transferencia de calor en el dispositivo. De igual manera, dichas una o más cámaras de combustión se encuentran dispuestas en la cámara de fluido de una manera tal que se propicia el movimiento del

fluido al interior de la cámara de fluido por diferencia de densidades, mejorando consecuentemente el proceso de calentamiento.

Igualmente, el intercambiador de calor puede contar con accesorios adicionales para mejorar su rendimiento, tales como un sistema de control de nivel de fluido que controla la cantidad de fluido al interior de la cámara de fluido, o un arreglo de resistencias eléctricas que puede proporcionar energía adicional al sistema.

De esta manera, el dispositivo de acuerdo con el presente desarrollo está configurado para satisfacer la necesidad de calentar un fluido de forma eficiente y disminuyendo posibles contaminaciones, siendo aplicable a una o más etapas de un proceso. Adicionalmente, el arreglo de quemador poroso dentro de la cámara de combustión, en la porción sumergida, disminuye al mínimo las pérdidas por distribución del gas caliente, aprovechando con mayor eficiencia el poder calorífico del gas de combustión.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La **figura 1** muestra un esquema del dispositivo de calentamiento integrado con quemador poroso de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La **figura 2** ilustra la configuración estructural de una modalidad del dispositivo de calentamiento integrado con quemador poroso de acuerdo con la presente invención.

La **figura 3** muestra la disposición lateral de una modalidad del dispositivo de calentamiento integrado con quemador poroso de acuerdo con la presente invención.

La **figura 4** resume resultados experimentales del desempeño en el tiempo de la temperatura a lo largo de la cámara de combustión, evaluados en una modalidad preferida de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención proporciona un dispositivo de calentamiento indirecto que responde a las necesidades de la técnica al brindar una transferencia de calor efectiva con

baja contaminación del fluido a calentar. De esta forma, el intercambiador de calor desarrollado comprende una cámara principal de fluido por donde circula el fluido a calentar, que comprende un arreglo de una o más cámaras de combustión sumergidas en el fluido a calentar. Dentro de dichas una o más cámaras de combustión se encuentra un lecho de medios porosos en donde ocurre la combustión de una mezcla de combustible y comburente.

En una modalidad preferida de la presente invención, tal como lo muestra la **figura 1**, se revela aquí un dispositivo intercambiador de calor que comprende una cámara principal de fluido **100**, y una cámara de combustión **200** situada al interior de la cámara principal de fluido **100**, que cuenta con un lecho de medios porosos **220** en donde sucede la combustión. De esta manera, el calor generado por la combustión es transferido al fluido contenido en la cámara principal de fluido **100** por convección y conducción a través de la pared de la cámara de combustión **200**, sin incurrir en pérdidas por transporte del fluido caliente.

La cámara principal de fluido **100**, por donde circulará el fluido a calentar, cuenta con uno o más ductos de entrada **100a** y uno o más ductos de salida **100b**. En una modalidad de la invención, a la entrada de la cámara principal de fluido **100** se disponen varios ductos de entrada **100a** que suministran fluido a la cámara principal de fluido **100** proveniente de distintos procesos. Adicionalmente, en algunas realizaciones de la invención la cámara de fluido **100** comprende al menos un ducto de entrada **100a** que permite la entrada de fluido de reposición, restableciendo la cantidad de fluido que se pierde por evaporación manteniendo un nivel de fluido constante al interior de la cámara principal de fluido **100**.

Ahora bien, en otra modalidad de la invención, el uno o más ductos de salida **100b** se encuentran dispuestos en la parte inferior de la cámara principal de fluido **100**, y se encuentran configurados de modo que una porción de ducto **150** sobresale al interior de la cámara principal de fluido **100** más allá de la superficie de la cara interna de dicha cámara **100**. Así, la mayoría de los sólidos que puedan encontrarse en el fluido se depositan por gravedad en el fondo de la cámara principal de fluido **100** alrededor de la porción de ducto **150** de los ductos de salida **100b**, en lugar de ser arrastrados por la corriente, para poder ser retirados posteriormente del dispositivo por medio de un desagüe dispuesto en la sección inferior de la cámara principal de fluido **100**. De esta

manera, dichos sólidos son retenidos en el mismo dispositivo y se evita que puedan causar deterioro a equipos que puedan encontrarse aguas abajo del mismo.

En una modalidad de la invención, la cámara principal de fluido **100** puede contar además con un sistema de control **400** que se encarga de mantener la cantidad de fluido constante al interior de dicha cámara **100**, de modo que cuando el nivel de fluido es menor a un límite preestablecido inferior, el sistema de control **400** acciona al menos una válvula **130** localizada en uno o más de los ductos de entrada **100a**, para permitir el ingreso de fluido. De igual manera, cuando el nivel de fluido es mayor a un límite preestablecido superior, el sistema de control cierra la válvula **130** para impedir el ingreso de más fluido y permite que cualquier exceso de fluido sea liberado por un ducto de salida lateral. Mediante este control, se garantiza que la cámara de combustión **200** siempre se encuentre completamente sumergida dentro del fluido contenido en la cámara principal de fluido **100**.

El sistema de control **400**, en una modalidad preferida, está conformado por un tren de suministro de gas que comprende uno o más medidores de gas natural, reguladores de presión, válvulas solenoides, válvulas de aguja, al menos un ventilador y al menos un actuador para aire. Adicionalmente, dicho sistema de control **400** cuenta con un tablero eléctrico que comprende al menos un totalizador, al menos un breaker, al menos un guardamotor, al menos un contactor, dos o más relé, al menos un control de nivel, dos o más relé de estado sólido, al menos un temporizador para la ignición, dos o más controles de temperatura, pilotos de iluminación y selectores.

Adicionalmente, en una modalidad de la invención, la cámara principal de fluido **100** puede contener accesos para introducir dispositivos externos de medición, o realizar mantenimiento a las piezas internas del mismo.

Tal como se ha expuesto anteriormente, la una o más cámaras de combustión **200** se distribuyen dentro de la cámara de fluido **100**, de modo que la pared de la cámara de combustión **200** aísla el interior de la cámara de combustión **200** del fluido de la cámara principal de fluido **100**. En la **figura 3** se muestra cómo, de manera preferida, la cámara de combustión **200** se encuentra dispuesta a lo largo de la cámara principal de fluido **100**, y cuenta con una o más entradas de combustible **200a** y una o más salidas de gas de

combustión **200b**. Adicionalmente, la cámara de combustión **200** comprende un lecho de medios porosos **220** dispuesto en su interior. En una modalidad, el lecho de medios porosos **220** está configurado con un tamaño de poro tal que se permita que la llama se propague fácilmente sin apagarse. Preferiblemente, el lecho de medios porosos **220** tiene un número de Péclet mayor o igual a 65. En una modalidad de la invención, la porosidad del lecho de medios porosos es de alrededor entre 85% y 95%, y comprende al menos parcialmente carburo de silicio y/o aleaciones de metales.

Adicionalmente, la cámara de combustión **200** puede contener un elemento distribuidor dispuesto a la entrada del lecho de medios porosos **220**, tal como una fibra permeable, con el fin de garantizar que el comburente y el combustible sean mezclados apropiadamente, y distribuidos de manera uniforme hacia el lecho de medios porosos **220**, lo que permite que la llama en la parte frontal del lecho de medios porosos **220** sea estable.

En una modalidad de la invención, la cámara de combustión **200** cuenta con un dispositivo de ignición en su interior, tal como una bujía, para iniciar la combustión del combustible. De esta manera, inicialmente se genera una chispa en una porción cercana a un extremo del lecho de medios porosos **220** en donde comienza la combustión y, posteriormente, al controlar el flujo de combustible y comburente que ingresa a la cámara de combustión **200**, el frente de llama se desplaza a lo largo del lecho de medios porosos **220** hasta alcanzar un estado estable. De esta manera, una vez el dispositivo alcanza dicho estado estable, la temperatura en todo el lecho de medios porosos es constante, lo que mitiga las variaciones en temperatura de las paredes de la cámara de combustión **200**, obteniendo una transferencia de calor completamente uniforme hacia el fluido contenido al interior de la cámara principal de fluido **100**. La presencia del lecho de medios porosos permite aprovechar en un mayor grado el poder calorífico del combustible al retener una mayor cantidad de calor en la cámara de combustión **200** y garantizar que los gases de combustión salgan a baja temperatura de esta. Adicionalmente, al tenerse una combustión más completa, se disminuye la generación de emisiones contaminantes del dispositivo.

En una modalidad de la invención, la cámara de combustión **200**, en donde se produce el calor que se suministra al fluido contenido en la cámara principal de fluido **100**, se

encuentra dispuesta en la parte inferior de dicha cámara principal de fluido **100**, preferiblemente a máximo un tercio de la altura de la cámara principal de fluido **100**. De esta manera, se propicia un proceso de circulación del fluido al interior de la cámara principal de fluido **100** debido a diferencia de densidades, teniendo en cuenta que el fluido caliente alrededor de la cámara de combustión **200**, siendo menos denso, se desplazará hacia la superficie para ser remplazado por fluido menos caliente o fluido sin calentar. Así, la eficiencia de calentamiento del fluido en el dispositivo es incrementada.

Adicionalmente, el dispositivo de calentamiento desarrollado, en una modalidad, puede contener capas de aislamiento para evitar la pérdida de calor a través de las paredes de la cámara principal de fluido **100**, y garantizar la seguridad de los operarios.

De igual manera, en otra modalidad de la invención, de forma opcional el dispositivo cuenta con una o más resistencias eléctricas **300** dispuestas al interior de la cámara principal de fluido **100**, preferiblemente a ambos lados de la cámara de combustión **200** como lo muestra la **figura 4**. Dichas resistencias **300** actúan como medios de calentamiento de respaldo y pueden ser empleadas o bien para satisfacer los requerimientos de temperatura requeridos, o para sustituir, en caso de fallo, a la cámara de combustión **200**. En una modalidad preferida, tales resistencias **300** son potenciadas mediante paneles solares.

Las modalidades aquí reveladas ejemplifican la invención, la cual no está limitada a dichas realizaciones, y su alcance puede incluir variaciones y modificaciones obvias de dichas modalidades.

EJEMPLOS

En una modalidad de dispositivo de acuerdo con la presente invención, se ubicaron cuatro sensores de temperatura a lo largo de la porción de cámara de combustión sumergida, dentro del fluido contenido en la cámara principal de fluido, con el fin de evaluar su comportamiento posterior a la ignición del combustible.

En este caso particular, una mezcla de aire y gas natural fueron inyectados a la cámara de combustión, mientras que el dispositivo principal de fluido fue llenado con agua; adicionalmente, se registró la calidad de los gases de combustión obtenidos a la salida de la cámara de combustión.

Los resultados, mostrados en la **figura 5**, muestran que en los primeros 60 minutos hay un aumento de la temperatura debido a que es en este tiempo donde se lleva a cabo el precalentamiento de los medios porosos. Posteriormente, el fluido de la cámara principal de fluido comienza a calentarse a la vez que la llama empieza a desplazarse por el lecho de medios porosos hacia la entrada de la mezcla de comburente y combustible. Aproximadamente en el minuto 150, el frente de llama se ubica cerca al primer sensor, lo que genera que los medios porosos ubicados a la entrada de la mezcla se precalienten y rápidamente adquieran la misma temperatura. Finalmente, los medios porosos cercanos a la salida de los gases se calientan, hasta que en el minuto 170 la temperatura en la pared del tubo es uniforme, alcanzando el estado estable del dispositivo, y manteniendo una temperatura completamente uniforme a lo largo de toda la cámara de combustión, que se encuentra en contacto directo con el fluido.

De esta manera, la configuración estructural de la presente invención permite una transferencia de calor uniforme a todo el fluido, disminuyendo las pérdidas de calor por distribución y aprovechando la capacidad calorífica del gas al mantener constante la temperatura del lecho de medios porosos.

Adicionalmente, durante las pruebas experimentales se midieron los gases de combustión generados durante el uso del dispositivo de la invención (O_2 , NO_x , CO , y SO_2) mediante un medidor de gases. El resultado promedio obtenido de los gases medidos fue de 14,6 % de O_2 , 10,5% de CO , 30,5ppm de NO_x y 0 ppm de SO_2 . Estos valores demuestran que la

configuración de medios porosos de acuerdo con la presente invención permite que se lleve a cabo una combustión completa del combustible en la cámara de combustión, aprovechando la capacidad calorífica del combustible y disminuyendo los productos contaminantes.