

DISPOSITIVO DE CALENTAMIENTO INDIRECTO PARA MATERIALES GRANULADOS

CAMPO DE LA INVENCION

5

El presente desarrollo se relaciona con sistemas de recuperación de calor de contacto indirecto, en particular, con dispositivos de calentamiento para materiales granulados.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10

Una de las aplicaciones de intercambiadores de calor conocidas en el arte consiste en el calentamiento o precalentamiento de material granulado. Esto es realizado, por ejemplo, en aplicaciones de fundición de materiales, en las que los requerimientos energéticos son sustancialmente altos, y el precalentamiento del material previo a ser entregado al horno de fundición puede disminuir de manera drástica la cantidad de energía que debe ser proporcionada a dicho horno; incrementando la eficiencia del procesamiento.

15

20

Adicionalmente, con el fin de obtener un ahorro energético aún más representativo, en el arte se han desarrollado intercambiadores de calor indirectos para material granulado que emplean gases de combustión calientes provenientes de uno o varios procesos diferentes. No obstante, esto ha implicado un desafío teniendo en cuenta que los gases de combustión pueden tener diferentes componentes que pueden resultar perjudiciales para la integridad estructural del intercambiador, promoviendo en algunas ocasiones que se generen filtraciones del fluido caliente hacia el material granulado y, en ciertos casos, una falla temprana del dispositivo.

25

30

Particularmente, entre los procesos de combustión de los cuales pueden provenir los gases calientes, en el arte se tienen aquellos que utilizan como comburente aire normal, aire enriquecido con oxígeno u oxígeno puro. En especial, cuando la combustión ha sucedido empleando aire enriquecido u oxígeno puro, la presión del vapor de agua se incrementa más allá de cómo sucedería empleando aire normal, lo que propicia que los gases se condensen más fácilmente al interior del dispositivo, obstruyendo los ductos por los que fluye el aire caliente y acelerando el proceso de oxidación de los tubos.

Adicionalmente, otra problemática encontrada en el arte se relaciona con el material particulado que puede cargar el gas de combustión en situaciones en las que éste provenga de procesos en donde exista contacto directo con el material que se calienta. En estas ocasiones, el material particulado no solo se puede acumular en el interior del dispositivo, sino que además puede propiciar abrasión en los materiales, especialmente en superficies en las que el gas pueda impactar de manera frontal y directa las paredes del intercambiador, generando zonas de alta temperatura y desgastando el material rápidamente.

Existe entonces en la técnica la necesidad de un intercambiador de calor indirecto que, garantizando la recuperación del calor para el precalentamiento del material granulado en condiciones de alta efectividad, mitigue tanto el impacto de la condensación como el desgaste del material particulado, propiciado por gases calientes provenientes de procesos de combustión con aire enriquecido y oxígeno puro, disminuyendo las pérdidas de energía en el dispositivo y garantizando su integridad estructural en el largo plazo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El presente desarrollo se refiere a un dispositivo de calentamiento, o un intercambiador de calor de gas a sólido, que comprende una cámara en donde se deposita material granulado, uno o más arreglos de tubos al interior de la cámara por donde fluyen los gases calientes, y cámaras de entrada y salida de dichos gases. En general, dichos arreglos de tubos de acuerdo con la presente invención consisten en un tubo interno contenido dentro de un tubo externo que tiene un extremo abierto y un extremo cerrado, esta configuración permite que los gases recorran una distancia más larga entre la entrada y la salida del dispositivo, manteniendo una temperatura más uniforme en su interior, y favoreciendo el intercambio de calor entre el gas y el material granulado.

Adicionalmente, las cámaras de entrada y de salida de gases comprenden una configuración estructural que elimina la existencia de puntos de mayor temperatura en las paredes del dispositivo, atenuando la posibilidad de que suceda fatiga térmica o falla en este. De igual manera, tal configuración distribuye de manera uniforme los gases calientes dentro y fuera del intercambiador, disminuyendo la abrasión que pueda suceder debido al

material particulado contenido en la corriente de gas y homogenizando la transferencia de calor en todos los arreglos de tubos.

5 Asimismo, el dispositivo de calentamiento cuenta con ductos de salida de fluidos condensados dispuestos en posiciones específicas del arreglo de tubos en donde el líquido condensado del gas puede acumularse, para poder ser retirado cuando sea requerido, previniendo la obstrucción del flujo de gas en el intercambiador.

10 De esta manera, el dispositivo de acuerdo con el presente desarrollo está configurado para realizar un calentamiento eficiente de material granulado, mitigando además el impacto generado por la condensación de los gases, y disminuyendo el desgaste propiciado por el material particulado contenido en la corriente de gas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

15

La **figura 1** muestra el dispositivo de calentamiento para materiales granulados de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

20

La **figura 2** corresponde a la disposición de los ductos de condensados en relación con el arreglo de tubos, de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

25

La **figura 3** ilustra la disposición de las cámaras de entrada y de salida de gases en relación con el arreglo de tubos, de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La **figura 4** ilustra resultados numéricos comparativos de la temperatura alcanzada mediante el arreglo de tubos interno y externo de la presente invención, en comparación con una configuración de un tubo único.

30

La **figura 5** resume resultados experimentales de la temperatura de los gases a la salida del dispositivo registrada durante la operación de una modalidad del dispositivo.

La **figura 6** muestra los resultados de una simulación desarrollada para evaluar la homogeneidad de la temperatura en las paredes de las cámaras de entrada y de salida de gases.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención proporciona un dispositivo de calentamiento para materiales granulados que responde a las necesidades encontradas en el arte, especialmente en ocasiones en las que el gas empleado proviene de procesos de combustión que emplean aire enriquecido u oxígeno puro, mitigando el impacto de la condensación de los gases y disminuyendo el desgaste producido por el material particulado presente en la corriente de gas. Especialmente, el dispositivo de calentamiento comprende una cámara principal en donde se deposita el material granulado, uno o más arreglos de tubos que comprenden un tubo interno y un tubo externo, una cámara de entrada de gases y una cámara de salida de gases con uno o más ductos de entrada o de salida, configuradas para producir un patrón de flujo circular del gas al interior del dispositivo, incrementando la tasa de transferencia de calor al material granulado.

En una modalidad preferida de la invención, tal y como lo muestra la **figura 1**, se revela un dispositivo de calentamiento de materiales granulados que comprende una cámara principal **100**, una cámara de entrada de gases **200**, una cámara de salida de gases **220** y un arreglo de tubos. De esta manera, se da un intercambio de calor entre los gases calientes que entran al dispositivo fluyendo a través del arreglo de tubos, y el material granulado depositado en la cámara principal **100**, mediante conducción.

En una modalidad de la invención, la cámara principal **100** comprende, en su extremo superior, una o más aberturas de entrada **120**, que permite que el material granulado sea depositado al interior del dispositivo de manera uniforme. Por otra parte, en su extremo inferior, se encuentran dispuestas una o más aberturas de salida **140** que permiten el flujo de material granulado hacia afuera del dispositivo. Dichas aberturas de salida **140** corresponden, en una modalidad preferida, a un embudo o una tolva.

Adicionalmente, el dispositivo puede contar con una válvula dispuesta en la abertura de salida **140** para controlar el flujo de material granulado y permitir, por ejemplo, configurar el dispositivo para funcionar en modo continuo o por lotes, ajustándose a las necesidades de cada proceso. En particular, en una modalidad de la invención se puede disponer un sistema de dosificación en la abertura de entrada **120**, tal como un tornillo sinfín, para

controlar la cantidad de material granulado que ingresa al dispositivo, especialmente en situaciones en las que éste funciona de manera continua.

De acuerdo con la presente invención y como lo ilustra la **figura 2**, uno o más arreglos de tubos se encuentran dispuestos al interior de la cámara principal **100**. Cada uno de dichos arreglos de tubos consiste en un tubo interno **320** que se encuentra abierto en sus dos extremos, dispuesto al interior de un tubo externo **300** que cuenta con un extremo abierto y un extremo cerrado. De acuerdo con esta configuración estructural, el gas caliente ingresa por un extremo del tubo interno **320** y, al salir por su extremo opuesto y encontrarse con el extremo cerrado del tubo externo **300**, recircula por el espacio anular entre el tubo interno **320** y el tubo externo **300**. De esta manera, el recorrido del gas caliente al interior del dispositivo se incrementa, aumentando la tasa de transferencia de calor hacia el material granulado, y aprovechando en mayor medida el calor del fluido. Por otra parte, en una modalidad preferida de la invención, los señalados tubos interno **320** y externo **300** del arreglo de tubos se encuentran dispuestos de manera sustancialmente concéntrica.

Adicionalmente, en una modalidad de la invención, el arreglo de tubos cuenta con ductos de salida de condensados **400**, los cuales se encuentran preferiblemente dispuestos en la porción inferior del tubo externo **300** en donde se acumula el condensado que pueda ocurrir al interior del arreglo de tubos. Tales ductos de salida de condensados **400**, en una modalidad preferida, cuentan con una válvula **420** que permite extraer del dispositivo el líquido acumulado en cualquier momento de su operación. Asimismo, en una modalidad de la invención, el extremo inferior del tubo externo **300** es desmontable, permitiendo que sea retirado cualquier material particulado que se deposite en el arreglo de tubos. De esta manera, se previene la ocurrencia de obstrucciones en el interior del dispositivo que disminuyan su rendimiento.

Ahora bien, como se muestra en la **figura 3**, en una modalidad de la invención, el dispositivo de calentamiento comprende una cámara de entrada de gases **200** y una cámara de salida de gases **220**, las cuales se encuentran dispuestas preferiblemente en el extremo superior de la cámara principal **100**. En una modalidad preferida de la invención, tales cámaras **200**, **220** son cilíndricas y comprenden uno o más ductos de entrada **200a** y uno o más ductos de salida **220a**, que se encuentran dispuestos de manera

sustancialmente tangencial al contorno de dichas cámaras **200, 220**. Esta configuración estructural en la cámara de entrada de gases **200** permite generar un patrón de flujo circular que evita que los gases de entrada choquen con las paredes de la cámara **200**. De esta manera, se evita la presencia de zonas de mayor temperatura en el dispositivo y se mitiga la abrasión que puedan causar las partículas solidas contenidas en el gas caliente, evitando que el material se desgaste y disminuyendo las pérdidas de energía a la entrada del dispositivo.

Adicionalmente, la cámara de entrada de gases **200** soporta los tubos internos **320** del uno o más arreglos de tubos, permitiendo que los gases calientes que ingresan al dispositivo a través de los ductos de entrada **200a** sean distribuidos desde la cámara de entrada **200** hacia dichos tubos internos **320**. De manera similar, la cámara de salida de gases **220** soporta los tubos externos **300** del uno o más arreglos de tubos, de modo que los gases calientes provenientes del espacio anular entre los tubos interno **320** y externo **300** son recibidos por dicha cámara de salida **220**, para ser luego expulsados por los ductos de salida **220a**. En una modalidad preferida, dichos tubos internos **320** y externos **300** se encuentran distribuidos en las cámaras **200, 220** de manera equidistante, en un patrón circular.

De acuerdo con la presente invención, el flujo circular obtenido por la configuración estructural de las cámaras **200, 220** y los ductos de entrada y salida de gases **200a, 220a**, propicia una mejor distribución del gas caliente hacia los tubos internos **320** del arreglo de tubos. Así, se consigue que la cantidad de gas caliente al interior de cada arreglo de tubos sea uniforme y, por ende, que la variación de temperatura entre ellos sea mínima.

Adicionalmente, se promueve que el flujo de los gases al interior de los tubos interno **320** y externo **300** del arreglo de tubos conserven un movimiento en espiral, incrementando la tasa de transferencia de calor hacia el material granulado depositado en la cámara principal **100**.

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

Ejemplo 1

5

Tal y como fue descrito anteriormente, en una realización preferida de la invención, el arreglo de tubos del dispositivo de calentamiento para material granulado consiste en un tubo interno dispuesto al interior de un tubo externo, preferiblemente de manera concéntrica.

10

Partiendo de lo anterior, se realizó un procedimiento numérico en el que se registró la temperatura externa del arreglo de tubos dispuestos concéntricamente, (denominado **D1**), en comparación con la temperatura externa que tendría una configuración de un único tubo (denominado **D2**), a lo largo de su longitud.

15

Los resultados de temperatura obtenidos, resumidos en la **figura 4** en función de la distancia longitudinal normalizada, evidencian que, a diferencia de la configuración estructural de un único tubo (D2) en donde la temperatura disminuye a una tasa sustancialmente constante, el arreglo de tubos concéntricos de acuerdo con la presente invención (D1) no solo mantiene una temperatura promedio mucho mayor, sino que ésta además se incrementa a medida que el gas caliente avanza en el arreglo de tubos.

20

25

Este resultado mejorado es logrado en parte gracias al doble recorrido que efectúa el gas caliente dentro del dispositivo antes de ser expulsado del mismo, pero, además, se debe al patrón de flujo en espiral inducido en los tubos interno y externo por la estructura de las cámaras y los ductos de entrada y de salida de gases, como ha sido explicado anteriormente.

30

De esta manera, se obtiene un mejor desempeño del dispositivo, aprovechando en mayor grado el calor de los gases que ingresan a éste, y proporcionando una mayor transferencia de calor al material granulado.

Ejemplo 2

35

Empleando un dispositivo de acuerdo con la presente invención, alimentado con gases de combustión con oxígeno puro, se realizaron mediciones de la variación de la temperatura

de los gases de salida hasta 150 minutos después de haber iniciado su funcionamiento, para evaluar la cantidad de líquido condensado y valorar tanto la disposición de los ductos de salida de condensados, como su capacidad para eliminar dicho líquido sin perjudicar el funcionamiento del dispositivo.

5

La **figura 5**, muestra que existe un tiempo importante al inicio del funcionamiento del dispositivo en el que la temperatura de los gases es inferior a su temperatura de rocío. En particular, de acuerdo con los resultados obtenidos, durante 13 minutos se generó condensación del vapor de agua contenido en la corriente de gas.

10

De esta manera, se evidenció también que la condensación del gas sucede al interior del arreglo de tubos, por lo que éste se deposita en la sección inferior del tubo externo. Adicionalmente, la configuración estructural de los ductos de salida de condensados, comprendiendo cada uno una válvula, y estando dispuestos en dicha sección inferior del tubo externo, permitió eliminar del dispositivo cualquier residuo de condensado generado en esta etapa, garantizando que el arreglo de tubos no tuviera obstrucciones que perjudicaran su funcionamiento. De hecho, se evidenció que la cantidad de condensado producido era suficiente para obstruir por completo el flujo de gas caliente al interior del dispositivo.

20

De esta manera, se concluyó que los ductos de salida de condensados contribuyen a que el dispositivo funcione de manera óptima, sin la necesidad de suspender su operación.

25 **Ejemplo 3**

Con el fin de evaluar la presencia de variaciones de temperatura en la estructura de las cámaras de entrada y salida de gases del dispositivo de la invención, se realizó una simulación de mecánica de fluidos computacional considerando la temperatura, composición y flujo másico de los gases y el material granulado a calentar. Los gases corresponden a los productos de combustión de gas natural con aire enriquecido con oxígeno, los cuales entran al dispositivo a una temperatura de 976 K (703 °C).

Los resultados obtenidos, mostrados en la **figura 6**, demuestran que la distribución de temperatura tanto en las paredes de la cámara de entrada como en las paredes de la cámara de salida es sustancialmente homogénea. En particular, considerando el patrón de colores uniforme, se concluyó que, bajo estas condiciones, la cámara de entrada
5 presentaría una temperatura de alrededor de 700 K, mientras que la cámara de salida se encontraría a una temperatura del orden de 400 K, sin presentar variaciones de temperatura significativas en sus paredes.

De esta manera, la entrada y salida de gas de manera tangencial a las cámaras, formando
10 un flujo circular, de acuerdo con la presente invención, elimina la presencia de puntos de mayor temperatura en la estructura, mitigando posibles fallas que puedan existir por fatiga térmica, disminuyendo la abrasión que podría generar el material particulado que pueda encontrarse en la corriente de gas y disminuyendo también las pérdidas de energía/calor en esta componente del dispositivo.