

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 428 899**

51 Int. Cl.:

C10L 1/12 (2006.01)

C10L 10/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2008** **E 08857478 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2013** **EP 2220198**

54 Título: **Procedimiento de combustión**

30 Prioridad:

06.12.2007 IT MI20072291

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

12.11.2013

73 Titular/es:

**ITEA S.P.A. (100.0%)
Via Santa Margherita al Colle 18
40136 Bologna, IT**

72 Inventor/es:

**MALAVASI, MASSIMO;
DI SALVIA, GRAZIA y
ROSSETTI, EDOARDO**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 428 899 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).

DESCRIPCION

Procedimiento de combustión

- 5 La presente invención se refiere a un proceso de combustión que permite reducir substancialmente el polvo fino en los humos que salen de una cámara de combustión, teniendo de esta forma un reducido impacto sobre el medio ambiente y sobre los seres vivientes cuando se emplean tanto combustibles convencionales como combustibles de baja calidad, biomásas o desperdicios.
- 10 Las emisiones de polvos de las instalaciones de combustión están sometidas a regulaciones o normas oficiales. Hasta la fecha, en Europa la regulación más exigente es la regulación CE 2000/76, aunque los polvos están caracterizados en la misma de una manera indiferenciada (peso total). Esta regla fija los límites para los polvos que tienen tamaños de partículas inferiores a 10 μm (PM 10), y para la concentración de metales pesados. Las
- 15 concentraciones de metales pesados, obtenidas mediante muestreo isocinético de los gases de combustión, se refieren al volumen de gas seco (deshumidificado). En las regulaciones, las concentraciones se refieren a los gases de combustión secos para la combustión con aire y están unívocamente ligadas al criterio del balance de masas para las emisiones, fijando la concentración de oxígeno en los gases de combustión en un 11 % en volumen. La regulación específica que, en el caso de una combustión con un comburente diferente del aire, por ejemplo aire enriquecido u oxígeno, se aplican unos coeficientes de corrección de acuerdo con el criterio del balance de masas.
- 20 Por ejemplo, en el caso de una combustión con oxígeno con una conversión total del oxígeno, el coeficiente de corrección (factor de normalización) varía con el tipo de combustible y puede ser tan bajo como 0,085. El criterio del balance de masas está ampliamente aceptado. Por ejemplo, la clasificación BAT (Best Available Technology) ("Mejor Tecnología Disponible") para las emisiones, emplea el balance de masas.
- 25 En la actualidad, para los gases de combustión que abandonan la cámara de combustión, no existe ninguna regla para la clasificación de la peligrosidad de los polvos sobre la base de su tamaño de partícula, y por lo tanto no existen límites de referencia para el tamaño de partícula. Esto es probablemente lo que sucederá en el próximo futuro, es decir, que se fijarán límites para el contenido de polvo con un diámetro de tamaño inferior a 2,5 μm (PM 2.5). A este propósito es suficiente ver las regulaciones más y más restrictivas para los polvos en el aire, por
- 30 ejemplo, en las ciudades del mundo. Por ejemplo, la nueva propuesta de la European Directive Proposal ("propuestas de la directiva europea") está bajo discusión para superar la norma 96-62-CE, la cual limita la cantidad de PM 10 solamente en no más de 40 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. La nueva directiva introduciría un nuevo límite para el contenido de PM 2.5 de 20 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ en el aire.
- 35 Hay que tener en cuenta además que el límite del contenido de PM 2.5 de acuerdo con la EPA (National Air Quality Standard) ("Estándar de Calidad del Aire Nacional") es de 15 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, y el valor sugerido por la OMS (World Health Organization) ("Organización Mundial de la Salud") es todavía menor, a saber, de 10 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Debido a esto, el valor del contenido de PM 2.5 para el polvo entrará en consideración en la tecnología.
- 40 Es conocido en la técnica antigua que los polvos finos están contenidos en el gas de combustión de todos los procesos industriales empleados. Los polvos finos están formados de partículas sólidas que tienen un diámetro de partícula inferior a los 2,5 micrómetros (PM 2.5) hasta tamaños del orden de algunos nanómetros. Están formados tanto de agregados de moléculas orgánicas por ejemplo en los crackings carboníferos con un contenido variable de hidrógeno y oxígeno (conocido como partículas de hollín o partículas diesel), como de agregados de moléculas
- 45 inorgánicas, por ejemplo, en sales y/o óxidos de metales alcalinos, metales alcalino-térreos y metales pesados, que derivan de las cenizas incombustibles contenidas en el combustible alimentado.
- Los polvos finos de origen orgánico se clasifican, en función de la forma, en cenosferas y pleroesferas.
- 50 Es también conocido que los polvos finos no pueden ser eliminados mediante los conocidos procesos industriales de post-tratamiento del gas de combustión como por ejemplo la filtración con filtros de mangas (filtración de impacto), electrofiltros (migración en un campo electrostático) o depuradores, empleando soluciones acuosas con diferentes pH, o soluciones orgánicas.
- 55 Los procesos conocidos son efectivos en la eliminación de partículas relativamente gruesas (con un diámetro medio de partícula superior a los 2,5 micrómetros), pero son completamente ineficaces en la eliminación de las partículas finas, en particular las que tienen un tamaño de partícula inferior a los 2,5 micrómetros, más particularmente un tamaño de partícula de un micrómetro. El tamaño de esta última partida representa la fracción de las partículas más peligrosas para la salud de los seres humanos y de los animales. De hecho, esas partículas permanecen en los
- 60 alveolos pulmonares causando graves enfermedades.
- Las cenizas incombustibles, las cenizas pesadas (no volátiles), pero en particular las cenizas voladoras, han representado un problema tecnológico en las instalaciones de combustión durante mucho tiempo. De hecho, han determinado la clasificación histórica / económica de los combustibles fósiles, desde el gas natural al petróleo, al
- 65 carbón. La patente WO 2007/120262 describe un método para controlar los contaminantes de la combustión del combustible, en donde se mezcla una dispersión conteniendo sales y/o óxidos, con el combustible.

En la técnica antigua, son también conocidas las cámaras de combustión que operan con un frente de llama de alta temperatura para la fusión de las cenizas incombustibles (cámaras de combustión de escorias), y para la reducción de las cenizas voladoras en los humos. En dichas instalaciones, el impacto negativo de los polvos efectuado por el gas de combustión caliente sobre la eficacia de las plantas de recuperación de energía, disminuye. Los inconvenientes de estas cámaras de combustión es que las cenizas voladoras no se eliminan puesto que la fusión de las cenizas nunca es cuantitativa, como máximo se eliminan un máximo del 70 – 80 % de las cenizas voladoras contenidas en los combustibles.

Para solventar esto, se emplean combustibles con un bajo contenido de cenizas. Sin embargo, estos combustibles no están disponibles en grandes cantidades. Los procesos de purificación del combustible, bien conocidos, son muy caros. Además, debe puntualizarse que los humos generados a partir de las cámaras de combustión contienen siempre polvos finos.

En la naturaleza son muy abundantes los combustibles que contienen cenizas, también en cantidades importantes. Además, el exorbitante aumento del consumo mundial de combustibles y la creciente demanda para controlar su impacto sobre el medio ambiente y sobre la salud humana y animal, requieren tener procesos de combustión disponibles en donde los combustibles convencionales puedan también ser empleados, incluso aquellos que contienen cenizas también en muy altas cantidades, y simultáneamente con reducidas emisiones de polvos finos en los humos salientes de las cámaras de combustión. Además, los combustibles antes citados son muy comunes en la naturaleza, por ejemplo las biomásas.

Se ha hecho patente la necesidad de disponer de procesos de combustión industriales que permitan reducir las emisiones de polvos finos de la combustión de las cámaras de combustión, cualquiera que sea el combustible utilizado.

Se ha descubierto inesperada y sorprendentemente un procedimiento que resuelve los problemas técnicos arriba mencionados.

Es un objetivo de la presente invención un procedimiento de combustión en donde un combustible, un comburente y un componente A) son alimentados a una cámara de combustión, comprendiendo el componente A), sales de bajo punto de fusión y/o óxidos o mezclas de los mismos con una temperatura de fusión ≤ 1.450 K, el ratio en moles $A'' / (A'' - A')$ es $\geq 0,01$, siendo:

- A' la suma en moles entre la cantidad de metales, bajo la forma de sales de bajo punto de fusión y/o óxidos o mezclas de los mismos en el componente A) y la cantidad de metales, bajo la forma de sales de bajo punto de fusión y/o óxidos de bajo punto de fusión contenidos en el combustible,
- A'' es la suma en moles de la cantidad de todos los metales contenidos en el combustible y de los contenidos en el componente A),

en donde la cámara de combustión es isotérmica y sin llama.

El ratio en moles $A' / (A'' - A')$ es de preferencia por lo menos de 0,1, todavía con mayor preferencia por lo menos de 0,2. El límite superior puede ser muy alto, por ejemplo puede ser hasta de 1.000.000, generalmente hasta 100. Puede alcanzar también un valor infinito cuando $(A'' - A') = 0$. Esto sucede cuando todos los compuestos de los metales presentes en el combustible son compuestos de bajo punto de fusión, es decir, cuando funden a temperaturas inferiores a 1.450 K. En este caso, los compuestos metálicos que funden a una temperatura mayor que la indicada más arriba, están ausentes.

En el procedimiento de la presente invención puede darse el caso de que $(A'' - A') \neq 0$, ó el caso en donde $(A'' - A') = 0$. Se ha encontrado sorprendente e inesperadamente por el solicitante, que también en este último caso los polvos finos ($\mu\text{M } 2.5$) en los humos y a la salida de la cámara de combustión están drásticamente reducidos. Se ha encontrado que en las paredes interiores de los equipos situados más abajo de las cámaras de combustión no se forman depósitos significativos de cenizas solidificadas.

El tiempo de permanencia en la cámara de combustión oscila de preferencia desde 0,5 segundos hasta 30 minutos o más, con mayor preferencia desde 2 hasta 10 segundos. Es posible emplear también tiempos más altos de permanencia, si se desea.

La determinación de los metales presentes en los combustibles se efectúa sobre las cenizas del combustible mediante técnicas de plasma, por ejemplo, ICP - OES. Las cenizas del combustible se obtienen por ejemplo de acuerdo con la norma ISO 1171, ó con cualquier método de pirólisis empleando una temperatura de 600 °C.

La temperatura de fusión de las cenizas puede ser obtenida empleando métodos ya conocidos, por ejemplo mediante la norma ASTM D 1857-87.

Para la determinación de la fracción de bajo punto de fusión, las cenizas de combustible se calientan a una temperatura de 1.450 K y se mantiene a esta temperatura de preferencia durante un tiempo de por lo menos 2 horas. Los metales se determinan sobre la fracción fundida. En particular, la fracción de bajo punto de fusión se aísla de las cenizas del combustible empleando por ejemplo, un crisol con un orificio en el fondo de un diámetro de 5 mm.

En el procedimiento de la invención, la presión en la cámara de combustión está comprendida entre 101,3 kPa (presión atmosférica) y hasta aproximadamente 2.000 kPa. La temperatura en la cámara de combustión está comprendida de preferencia entre 1.500 K (1.223 °C) hasta 2.100 K (1.827 °C).

El comburente es de preferencia oxígeno. Por ejemplo, puede emplearse oxígeno de alta pureza (98,5 % en volumen). Generalmente, puede también emplearse el oxígeno con una concentración de 88 – 92 % de VSA (Absorción Oscilante al Vacío) y 88 – 92 % de VPSA (Absorción Oscilante de la Presión al Vacío). De preferencia el límite inferior de la concentración de oxígeno es del 70 % en volumen, estando formado el complemento hasta el 100 % por gases inertes y/o nitrógeno. El comburente en el procedimiento de la invención, se emplea preferentemente en un exceso molar con respecto a la cantidad estequiométrica requerida para la reacción con el combustible. Sin embargo puede también ser empleado en defecto con respecto a la cantidad estequiométrica.

De preferencia, los gases de combustión a la salida de la cámara de combustión se enfrían a una temperatura igual o inferior a 1.100 K, en cualquier caso inferior a la temperatura de solidificación de los vapores condensados de las cenizas fundidas. Esto es una ventaja, puesto que pueden emplearse las instalaciones de recuperación térmica y las máquinas de rotación construidas con materiales convencionales.

Puede emplearse también una mezcla con una temperatura de fusión ≤ 1.450 K de uno o más compuestos A) mezclados con sales de alto punto de fusión y/o óxidos de alto punto de fusión con temperaturas de fusión por encima de los 1.450 K, como componente A). Uno o más compuestos A pueden emplearse en cantidades de preferencia superiores a un 5 % en peso, con mayor preferencia hasta un 30 % en peso. Un ejemplo de un compuesto de alto punto de fusión es la bentonita.

Por lo tanto, las composiciones eutécticas o casi eutécticas, a condición de que tengan un punto de fusión inferior a los 1.450 K, pueden emplearse en la presente invención.

Como sales de bajo punto de fusión y/o óxidos del compuesto A) pueden emplearse los óxidos y/o las sales de sodio y/o de potasio, por ejemplo, los sulfatos, los fosfatos, y los cloruros, los alúminosilicatos de metales alcalinos o metales alcalinotérreos, etc.. Las mezclas de bajo punto de fusión como se han descrito más arriba pueden obtenerse fácilmente por los expertos en la técnica, por ejemplo mediante el empleo de "CRC Handbook of Chemistry and Physics" ("Manual CRC de Química y Física) 1996 - 1997 Ed., ó "The American Ceramics Society" ("Sociedad Americana de Cerámica"), www.ceramics.org/phase".

Otros componentes convencionales, arcillas, sílico alúminas, etc., pueden añadirse a la cámara de combustión.

La adición del componente A) a la cámara de combustión puede efectuarse alimentándolo por separado del combustible, de preferencia en mezcla con el mismo

Cuando el componente A se alimenta por separado, puede estar por ejemplo en forma de una solución o suspensión acuosa.

El solicitante ha encontrado sorprendente e inesperadamente que en los humos que salen de la cámara de combustión, operados de acuerdo con el procedimiento de la invención, la cantidad de polvo se reduce drásticamente y en particular la cantidad de la fracción de cenizas que tiene un tamaño de partícula inferior o igual a 2,5 μm , más específicamente inferior a 1 μm , todavía más específicamente inferior a 0,4 μm , se reduce drásticamente.

Como combustibles que pueden emplearse en el procedimiento de la invención pueden ser mencionadas las biomásas, por ejemplo las derivadas de azúcares, comidas animales, carbón, residuos industriales procedentes de reacciones de neutralización, fracciones de refinería de alto punto de ebullición, bitúmenes y esquistos bituminosos, residuos del procesado de arenas bituminosas, turbas, disolventes agotados, breas, residuos y desperdicios de procesos industriales en general, incluyendo las fracciones residuales de residuos urbanos, opcionalmente comprendiendo el CDR (combustible a partir de residuos). Las emulsiones de combustibles líquidos de origen petrolífero pueden también emplearse.

Como se ha mencionado, la cámara de combustión en el procedimiento de la presente invención es isotérmica y sin llama, puesto que trabaja a temperaturas iguales o superiores a los 1.500 K, de preferencia mayor de 1.700 K hasta 2.100 K, y a una presión superior a 103 kPa (1 bar), de preferencia superior a 200 kPa, todavía con mayor preferencia superior a los 600 kPa y hasta los 2.026 kPa.

La cámara de combustión isotérmica empleada en el procedimiento de la invención se describe en la solicitud de patente WO 2004/094. 904.

5 Cuando el combustible se introduce en la cámara de combustión isotérmica mezclado con agua y/o vapor, la cámara de combustión opera como se describe en la solicitud de patente WO 2005/108.867.

10 De preferencia, el comburente oxígeno alimentado se mezcla previamente con los humos de reciclado, siendo la cantidad de humo generalmente superior a un 10 % en volumen, de preferencia superior a un 50 % en volumen. Los humos de reciclado contienen de preferencia también agua, en forma de vapor, en general en cantidades calculadas sobre el volumen total de los humos de reciclado superiores a un 10 % en volumen, de preferencia superiores a un 20 % en volumen, y todavía con mayor preferencia superiores a un 30 % en volumen.

15 El comburente alimentado puede también estar mezclado con vapor, el cual puede substituir parcial o totalmente los humos de reciclado.

20 El combustible de alimentación puede contener también agua / vapor en una cantidad en función del tipo de combustible empleado. El porcentaje de agua en el combustible, expresado como tanto por ciento en peso, puede ser también de hasta un 80 % e incluso más elevado, con la condición de que el valor de la potencia de calefacción más pequeña sea (LHV) > 6.500 kJ/kg de la mezcla de alimentación.

25 Los gases a la salida de la cámara de combustión se enfrían mediante la mezcla de los mismos en un mezclador con los gases de reciclado hasta alcanzar una temperatura final inferior a los 1.100 K. Los humos pueden ser conducidos a un intercambiador de calor en donde el agua es alimentada para producir vapor. Los humos que han sido sometidos al paso de transferencia de calor se comprimen de nuevo para reciclar, tanto a la cámara de combustión como a un mezclador, a la salida de la cámara de combustión. De preferencia, la porción de humo correspondiente a la producción de humo neto de la combustión se expande para obtener un trabajo mecánico y a continuación se envía a una unidad de post-tratamiento del humo. Los humos que han de ser expandidos son tomados en correspondencia de la salida del mezclador. La expansión puede lograrse empleando un turboexpansor puesto que los humos están substancialmente libres de cenizas voladoras.

30 En la parte baja de la cámara de combustión se dispone un recipiente de recogida para las cenizas fundidas. Las cenizas recogidas se enfrían a continuación, por ejemplo en un baño de agua, y se transfieren en un estado sólido vitrificado, a los sedimentadores estáticos.

35 Se ha descubierto inesperada y sorprendentemente por el solicitante que en el procedimiento de la presente invención, tanto los metales presentes en el combustible como los metales presentes en el componente A), permanecen en estado líquido en la cámara de combustión y a continuación se eliminan como se ha mencionado, del fondo de la cámara de combustión. Además, el valor del total de la emisión para el contenido de PM 2.5 de acuerdo con el estándar EC 2000/76 se reduce a valores inferiores a los 50 microgramos/Nm³.

40 El control del procedimiento para la determinación de partículas con un diámetro de tamaño de partícula < 2,5 micrómetros, se efectúa mediante el empleo de sensores localizados en los humos a la salida de la cámara de combustión. Por ejemplo, puede emplearse un opacímetro. En particular, puede emplearse un instrumento ELPI (Electrical Low Pressure Impactor) ("Impactador Eléctrico de Baja Presión"). Este opera escaneando continuamente las PUF (Ultra Fine Particulate) ("Partículas Ultra Finas"), que tienen generalmente un tamaño de partícula de 2,5 - 0,01 µm, con unos 10 minutos de frecuencia. Esto suministra la información requerida para la dosificación del compuesto A) en la cámara de combustión con el fin de mantener el contenido total de PUF claramente por debajo de las concentraciones citadas más arriba, algunos órdenes de magnitud más bajo que las informadas en la técnica antigua, por ejemplo en los BAT.

45 50 Como ya se ha mencionado, se ha descubierto sorprendente e inesperadamente por el solicitante, que el procedimiento de la invención es particularmente efectivo en la retención en estado fundido en la cámara de combustión también de aquellos metales pesados que están normalmente presentes en los humos en cantidades notables en forma de polvos finos. Por ejemplo, es bien conocido en la técnica antigua que el cadmio, en forma de óxido CdO, se volatiliza en los procedimientos de combustión de la técnica antigua, y se encuentra totalmente en forma de partículas finas y ultra finas en los humos y pasa prácticamente inalterado a través de las instalaciones de post-tratamiento del humo. Por el contrario, en las condiciones empleadas en el procedimiento de la presente invención, el óxido de cadmio se elimina casi completamente de los humos descargados en la atmósfera.

55 60 Con el procedimiento de la presente invención también otros metales pesados, como por ejemplo el manganeso, el cobre, el cromo, el vanadio, el plomo, pueden ser eliminados casi cuantitativamente.

65 El procedimiento de la presente invención permite además una significativa reducción o incluso la eliminación del vanadio de los humos de combustión, lo cual en cambio es particularmente difícil con los procedimientos de la técnica anterior. El metal está presente en los petróleos en crudo, en cantidades importantes en los crudos pesados,

en bitúmenes, en los esquistos y en las arenas bituminosas, así como también en las fracciones de residuos pesados del procesado del petróleo. El vanadio como ya es conocido, es un metal pesado tóxico.

A las temperaturas de combustión empleadas en el procedimiento de la presente invención, el vanadio está generalmente en forma de óxido V_2O_5 , el cual es un sólido de alto punto de fusión. A temperaturas superiores a los 1.670 K, el V_2O_5 se transforma en el volátil VO_2 . Además, el V_2O cataliza la conversión del SO_2 en SO_3 , el cual es un gas particularmente agresivo, debido a la formación de ácido sulfúrico, el cual se deposita sobre las paredes de las instalaciones situadas más abajo de la cámara de combustión, a las temperaturas a las cuales trabajan las plantas de recuperación térmica.

Se ha descubierto sorprendentemente que con el procedimiento de la invención, operando a temperaturas de combustión de 1.500 K hasta < 1.670 K, es posible reducir significativamente o incluso eliminar, la cantidad de vanadio contenido en los humos.

Con el procedimiento de la presente invención, es por lo tanto posible emplear también combustibles de baja calidad, los cuales no puede emplearse en las cámaras de combustión de la técnica antigua.

Además, es posible combinar un ciclo Joule-Bryton con la cámara de combustión de la invención, por ejemplo, presurizando a 1.000 kPa, seguido de una turboexpansión sobre la producción de humo neto, y un ciclo Rankine sobre el calor recuperado de los gases calientes, antes de que sean reciclados a la cámara de combustión y al mezclador-refrigerador de humos. De esta manera, pueden alcanzarse rendimientos de transformación de la energía térmica en energía eléctrica, superiores a un 57 %.

Los siguientes ejemplos ilustran, con propósitos no limitativos, la presente invención.

EJEMPLOS

EJEMPLO 1

Caracterización de los polvos

Las partículas contenidas en los humos de combustión se recogen mediante un impactador Andersen del tipo Mark III, equipado con un pre-separador capaz de eliminar las partículas con un diámetro aerodinámico superior a 10 μm y para separar el PM 10, mediante el uso de un flujo de muestreo de 14 litros/minuto, y filtros para las fracciones granulométricas con un diámetro aerodinámico en el margen de 10 - 9 μm ; 9 - 5,8 μm , 5,8 - 4,7 μm , 4,7 - 3,3 μm ; 3,3 - 2,1 μm ; 2,1 - 1,1 μm ; 1,1 - 0,7 μm ; 0, 7 - 0,4 μm .

Al final del procedimiento de muestreo, las fracciones de partículas recogidas han sido sometidas a un análisis químico-físico mediante microscopía electrónica de escaneo (SEM) y análisis por rayos X.

El análisis químico de las partículas se ha efectuado con un microscopio SEM Philips XL30, equipado con un sistema EDX de ventana fina para el microanálisis mediante espectrometría de dispersión de la energía, empleando un sistema automático capaz de detectar automáticamente las partículas cuando se excede un determinado umbral.

Los parámetros morfológicos y la composición han sido determinados para cada una de las partículas identificadas, midiendo las intensidades de las líneas características del espectro de rayos X, y convirtiéndolas a continuación en las correspondiente concentraciones atómicas.

Las partículas con tamaños inferiores a 0,4 μm que escapan a partir de la última etapa del impactador Andersen, han sido recogidas sobre soportes de mica para el análisis mediante el microscopio de fuerza atómica mediante un actuador neumático capaz de recoger, mediante el efecto termoforético, un número suficiente y estadísticamente significativo de partículas. La corriente gaseosa que sale del impactador se envía a continuación a un sistema de condensación del vapor de combustión. La fase condensada ha sido sometida a continuación a un análisis espectroscópico para determinar la concentración de las partículas nanométricas (< 0,4 μm).

El análisis para metales se efectúa mediante espectroscopia de inducción por plasma, empleando el instrumento ICP-OES de la firma Thermo Electron Corporation.

Las cenizas de los combustibles se determinan de acuerdo con la norma ISO 1171. Los combustibles se pirolizan a 600 °C hasta peso constante.

La temperatura de fusión de las cenizas se determina de acuerdo con la norma ASTM D 1857-87.

La fracción de bajo punto de fusión de las cenizas del combustible se determina empleando un crisol con un orificio en el fondo con un diámetro de 5 mm. La muestra de cenizas del combustible se calienta a 1.450 K y se mantiene a

esta temperatura durante por lo menos 2 horas. A continuación se determina el peso de la fracción fundida que fluye del fondo del crisol. Sobre dicha fracción de metal se efectúa la determinación.

EJEMPLO 2

Una cámara de combustión isotérmica y sin llama 5 MW, se calienta a 1.650 K y a la presión de 5 bars y mediante el empleo de oxígeno como comburente en una concentración de un 92 % en volumen, en exceso sobre la cantidad estequiométrica, de manera que se obtenga una concentración de oxígeno en los humos salientes de la cámara de combustión comprendida entre un 1 % y un 3 % en volumen. Un residuo industrial se alimenta también a una velocidad de 11 kilos/minuto, constituido por una mezcla de disolventes agotados, agua y un residuo sólido insoluble en una cantidad de un 1,4 % en peso sobre el peso total de los residuos.

El análisis de los residuos ha dado como resultado una cantidad de cenizas incombustibles igual a 1,04 % en peso. Mediante el análisis óptico ICP (inductive coupled plasma) ("plasma acoplado inductivo"): ICP - OES) se ha encontrado que las cenizas están formadas principalmente de alúmina, sílica y calcio (sulfato de calcio). Las cenizas contienen además metales pesados, entre los cuales se encuentran el níquel, el manganeso, el cobalto, el cromo, el cobre, el plomo, en una concentración total en peso de 370 ppm en peso.

La temperatura de fusión de las cenizas incombustibles es de 1.712 K.

Se alimentan 0,5 litros/minuto de una suspensión acuosa de la siguiente composición, a la cámara de combustión:

- 10 % en peso de bentonita comercial en polvo con una composición aproximada de $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$ y una temperatura de fusión de 1.590 K,
- 3 % en peso de pirofosfato de potasio comercial, con una temperatura de fusión de 1.363 K.

Mediante análisis óptico ICP se determinan los metales en el componente A), en el componente opcional bentonita y en el combustible. Se ha encontrado que el ratio molar $A' / (A'' - A')$ es igual a 0,1.

Los polvos totales en los humos a la salida de la cámara de combustión se encuentra que son de $0,02 \text{ mg/Nm}^3$.

Después de la filtración de los humos sobre un filtro de mangas de escape, se encuentra en los humos emitidos al aire, que el contenido de PM 2.5 es de $8 \mu\text{g/Nm}^3$. Hay que hacer notar que ambos valores anteriores son muy bajos.

En los humos emitidos al aire, los valores de la concentración normalizada de los metales pesados son inferiores a $1 \mu\text{g} / \text{Nm}^3$.

EJEMPLO 3 comparativo

Se repite el ejemplo 2, pero omitiendo la adición de la suspensión acuosa de bentonita y de pirofosfato de potasio.

Se encuentra que en los humos emitidos al aire, el contenido de partículas PM 2.5 es de $3 \text{ mg} / \text{Nm}^3$, y el contenido de metales pesados es de $0,15 \text{ mg/Nm}^3$.

EJEMPLO 4 comparativo

En una cámara de combustión térmica 6 MW de la técnica antigua, se alimentan 13 kg/minuto de los mismos residuos industriales empleados en el ejemplo 2, a la presión atmosférica y empleando el aire como comburente. Las paredes de la cámara de combustión se mantienen a una temperatura superior a los 1.150 K. Los humos abandonan la cámara de combustión a una temperatura de 1.310 K.

Después de la filtración de los humos de combustión sobre un filtro de mangas y sobre un filtro electrostático, los humos emitidos en el aire contienen una cantidad de polvos de 9 mg/Nm^3 . El contenido de PM 2.5 es de $6 \text{ mg} / \text{Nm}^3$ y el de metales pesados es de $0,44 \text{ mg} / \text{Nm}^3$.

Por comparación de los datos obtenidos en el ejemplo de la invención con los de los ejemplos comparativos se deduce que los polvos de los humos descargados en la atmósfera en el procedimiento de la invención son mucho más pequeños que los obtenidos en los procedimientos de la técnica antigua. El contenido de PM 2.5 es inferior en dos-tres órdenes de magnitud y el contenido de metales pesados es inferior en dos órdenes de magnitud al de los ejemplos comparativos.

Por lo tanto, con el procedimiento de la presente invención se obtiene una importante mejora en la reducción de los polvos y metales pesados emitidos, en comparación con los procedimientos de la técnica antigua.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento de combustión en donde un combustible, un comburente y un componente A) son alimentados a una cámara de combustión, comprendiendo el componente A) sales de bajo punto de fusión y/o óxidos y/o mezclas de los mismos con una temperatura de fusión ≤ 1.450 K, y el ratio en moles $A' / (A'' - A')$ es $\geq 0,01$, siendo:
- A' la suma en moles entre la cantidad de metales, bajo la forma de sales de bajo punto de fusión y/o óxidos y/o mezclas de los mismos presentes en el componente A) y la cantidad de metales, bajo la forma de sales de bajo punto de fusión y/o óxidos o mezclas de los mismos contenidos en el combustible,
 - 10 -A'' es la suma de la cantidad de todos los metales contenidos en el combustible y los contenidos en el componente A),
en donde
 - la cámara de combustión es del tipo isotérmico y sin llama.
- 15 2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el ratio en moles $A' / (A'' - A)$ es por lo menos de 0,1, de preferencia por lo menos, de 0,2.
- 20 3. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 2, en donde la presión en la cámara de combustión es mayor que la presión atmosférica y hasta 2.000 kPa y la temperatura está comprendida entre 1.500 K (1.223 °C) y hasta 2.100 K (1827 °C).
- 25 4. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 3, en donde el comburente es oxígeno en exceso con respecto a la cantidad estequiométrica para la reacción de combustión con el combustible.
- 30 5. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 4, en donde los gases de combustión a la salida de la cámara de combustión se enfrían a una temperatura igual o inferior a los 1.100 K.
6. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 4, en donde como componente A) se emplea una mezcla con una temperatura de fusión de 1.450 K, consistente en uno o más compuestos como se ha definido en A) y sales y/o óxidos con una temperatura de fusión por encima de los 1.450 K.
- 35 7. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 6, en donde el componente A) se alimenta a la cámara de combustión separadamente del combustible o en mezcla con el combustible.
- 40 8. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 7, en donde el tiempo de permanencia del combustible en la cámara de combustión oscila desde 0,5 segundos hasta 30 minutos.
9. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 8, en donde el oxígeno alimentado se mezcla previamente con los humos de reciclado, siendo la cantidad de humo superior a un 10 % en volumen.
- 45 10. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 9, en donde los humos de reciclado contienen agua en forma de vapor y en una cantidad superior a un 10 % en volumen calculado sobre el volumen total de los humos reciclados.
- 50 11. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 10, en donde el combustible contiene agua / vapor en una cantidad, expresada en % en peso, de hasta un 80 %.
12. Los humos obtenidos a partir de un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 - 11.
13. Los humos de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la concentración de PM 2.5 es inferior a 50 microgramos/Nm³ en los humos emitidos.