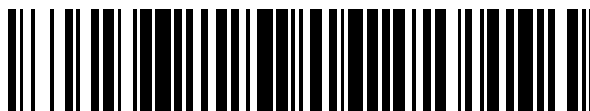


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 777 175**

51 Int. Cl.:

**C10L 10/04** (2006.01)

**C10L 5/04** (2006.01)

**C10L 9/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.01.2012 PCT/US2012/021301**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.07.2012 WO12097289**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2012 E 12734396 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2020 EP 2663620**

54 Título: **Procedimiento de funcionamiento de un horno con un carbón bituminoso y procedimiento para reducir la formación de escoria usando el mismo**

30 Prioridad:

**20.12.2011 US 201161578034 P**  
**14.01.2011 US 201161432910 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.08.2020**

73 Titular/es:

**ENVIRONMENTAL ENERGY SERVICES, INC.**  
**(100.0%)**  
**5 Turnberry Lane**  
**Sandy Hook, CT 06482, US**

72 Inventor/es:

**PASTORE, MARK**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**Observaciones:**

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes**

**ES 2 777 175 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**

Procedimiento de funcionamiento de un horno con un carbón bituminoso y procedimiento para reducir la formación de escoria usando el mismo

5 **Antecedentes de la divulgación**

**1. Campo de la divulgación**

10 La presente divulgación se refiere a un procedimiento de funcionamiento de un horno con un carbón bituminoso para generar calor. La presente divulgación se refiere también a un procedimiento para reducir la formación de escoria en un horno. La presente divulgación se refiere asimismo a un procedimiento de tratamiento del carbón. La presente divulgación se refiere igualmente a un carbón tratado.

15 **2. Descripción de la técnica relacionada**

La escoria se acumula sobre las superficies y/o paredes de hornos y calderas debido al depósito de cenizas fundidas y/o semifundidas, las cuales pueden solidificarse a su vez. Las partículas de ceniza se funden normalmente cuando salen de la zona de llama o de la sección radiante de una caldera o un horno (los términos "horno" y "caldera" se usan de forma intercambiable en el presente documento). Si el punto de fusión de las cenizas o la velocidad de solidificación son muy bajos, las partículas no tendrán suficiente tiempo para solidificar antes de impactar o de entrar en contacto con una superficie dentro de la caldera o el horno. Cuando esto ocurre, las cenizas fundidas o de tipo plástico se adhieren a la superficie y se solidifican sobre la misma, lo que da lugar a un depósito de escoria. También se pueden producir incrustaciones en secciones de convección de menor temperatura de la caldera o el horno cuando los componentes volátiles de la ceniza, tales como los óxidos de metales alcalinos, se condensan y acumulan ceniza adicional, que se puede sinterizar en una masa dura.

Normalmente, se tienen en cuenta la composición y las propiedades físicas de las cenizas encontradas en materias primas prospectivas de carbón cuando se diseña el tamaño y la dinámica térmica de una caldera o un horno. La formación de escoria puede ser un problema particular cuando se usa en una caldera o un horno una materia prima de carbón para la cual no se ha diseñado la caldera o el horno. El tamaño y la dinámica térmica de la caldera con respecto a la composición y a las propiedades físicas de las cenizas en la materia prima de carbón determinarán si la ceniza es sólida o está fundida en el momento en el que alcanza una superficie. Preferentemente, la caldera o el horno se diseñan para que la ceniza se solidifique antes de llegar a superficies dentro de la caldera o el horno. Tal ceniza solidificada se puede eliminar de forma relativamente fácil mediante medios conocidos en la técnica, tales como la eliminación física o el soplado.

La formación de escoria se puede producir en cierto grado en todos los sistemas de la caldera y el horno. Las calderas se diseñan a menudo para algunas acumulaciones de escoria sobre superficies y paredes a fin de proporcionar una medición adicional del aislamiento térmico y de minimizar, por tanto, las pérdidas de calor a través de las paredes. Una acumulación excesiva de escoria, sin embargo, tiende a obstruir la caldera o el horno y/o da como resultado temperaturas excesivas en los mismos.

La formación de escoria tiene un impacto enorme sobre el funcionamiento de la caldera. La acumulación significativa de escoria da como resultado un bloqueo parcial del flujo de gas, lo que requiere posiblemente la reducción de la carga de la caldera. La escoria se puede acumular hasta el punto de que puede conllevar el daño de los tubos cuando se intenta desalojar acumulaciones pesadas. El aislamiento de los tubos de paredes de agua puede llevar al desequilibrio térmico dentro de la caldera, a reducciones de la eficacia en la transferencia de calor y a temperaturas excesivamente elevadas en la sección de sobrecalentamiento.

Las calderas se diseñan generalmente en torno a un intervalo específico de propiedades del carbón, dependiendo de la fuente de combustible esperada. Muchos consumidores se ven forzados a cambiar sus suministros normales debido a la creciente demanda de carbón. Además, unas normas más restrictivas con respecto a las emisiones pueden hacer más deseable un cambio de combustible que la adición de sistemas de control. Los suministros de carbón pueden ser completamente diferentes al combustible de diseño en cuanto a la temperatura de fusión de las cenizas, la composición de las cenizas, etc. La sustitución de un carbón con características de las cenizas significativamente diferentes a las del carbón para el que se diseñó la caldera causa problemas tales como la escorificación.

Se tienen en cuenta muchos factores al diseñar una caldera capaz de tratar las características de las cenizas de un carbón particular. Las consideraciones de diseño son muy importantes al determinar si se formarán depósitos cuando se quema un combustible particular. Las consideraciones de diseño están dirigidas a optimizar el proceso de combustión y a reducir los depósitos hasta un mínimo, maximizando así la eficacia de extracción de energía del combustible. Es necesario un control cuidadoso de las cantidades relativas absorbidas a lo largo de las diversas secciones de la caldera.

Un procedimiento usado comúnmente en la técnica para reducir la formación de escoria durante operaciones en línea es el soplado de hollín. Sin embargo, el soplado de hollín normalmente atenúa solo de forma parcial el problema de la formación de escoria.

5 Otro procedimiento para reducir la formación de escoria en línea es reducir la carga de la caldera o el horno. Durante la reducción de carga de la caldera, las temperaturas disminuyen y la ceniza fundida solidifica más rápido, es decir, antes de alcanzar las paredes de la caldera/el horno. Asimismo, la reducción de la temperatura puede generar una diferencia de las velocidades de contracción entre el metal de los tubos y la escoria y hacer que la escoria se separe de las superficies de los tubos. A pesar de todo lo anterior, la reducción de la carga de la caldera no es deseable económicamente debido a su capacidad perdida.

15 Otro procedimiento usado en la técnica para reducir la formación de escoria en línea es el uso de una pulverización atemperante, lo que reduce las temperaturas del vapor. A medida que los tubos comienzan a presentar formación de escoria, unas temperaturas del vapor excesivamente elevadas en las secciones de sobrecalentamiento y/o recalentamiento de la caldera o el horno pueden requerir el uso de una pulverización atemperante. Si la escorificación continua aumentando, se debe aumentar la cantidad de pulverización. Puesto que el nivel de uso de la pulverización atemperante es proporcional al grado de formación de escoria, puede servir como una medida útil de la gravedad de la formación de escoria. Cuando se alcanza la pulverización máxima y las temperaturas del vapor son todavía demasiado elevadas, se debe restaurar el equilibrio térmico reduciendo la carga y soltando o eliminando la escoria.

20 Un carbón frecuentemente usado para los fines de producción de electricidad y energía es el carbón bituminoso de la cuenca de Illinois (*Illinois Basin* o ILB). Una desventaja del uso de un carbón ILB es que éste muestra normalmente una temperatura de fusión de las cenizas relativamente baja, lo que puede conllevar niveles elevados de formación de escoria en hornos de carbón.

El documento US 2845338 se refiere a un aditivo de combustible para eliminar e inhibir la formación de depósitos en áreas expuestas al fuego.

30 El documento US 4953481 se refiere a un procedimiento para controlar la acumulación de escoria en las paredes interiores de incineradores durante la operación de quemado de basura, residuos médicos, lodos de una planta de depuración de aguas residuales y materiales de desecho similares.

35 El documento US 2014/0318428 se refiere a un procedimiento de funcionamiento de un horno de carbón.

El documento US 2006/034743 A1 divulga un procedimiento para reducir emisiones visibles de azufre, atribuibles a una niebla de ácido sulfúrico durante la combustión de carbón.

40 Sería deseable disponer de un procedimiento de funcionamiento de un horno de carbón que exhiba una menor formación de escoria. También sería deseable tener un procedimiento para reducir la formación de escoria en un horno de carbón. Sería deseable disponer de un procedimiento de tratamiento del carbón. Sería deseable tener un carbón tratado que exhiba una menor formación de escoria cuando se somete a combustión. Sería particularmente deseable tener lo anterior con respecto a un carbón ILB.

#### 45 **Sumario de la divulgación**

De acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento de funcionamiento de un horno de carbón para generar calor. El procedimiento comprende las etapas de a) suministrar el carbón al horno y b) someter a combustión al carbón en presencia de un primer ingrediente reductor de escoria y un segundo ingrediente reductor de escoria en cantidades eficaces para reducir la formación de escoria en el horno. El primer ingrediente reductor de escoria es uno o más compuestos oxigenados de magnesio. El segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre el grupo que consiste en uno o más compuestos oxigenados de calcio. El carbón es un carbón bituminoso que exhibe una relación en peso Si/Al de 2,19 a 2,85; una relación en peso Fe/(Si+Al) de 0,12 a 0,32; y una relación en peso Ca/(Si+Al) de 0,04 a 0,09. El primero y el segundo ingredientes reductores de escoria están presentes en una cantidad de 100 a 2000 ppm en peso basada en el peso del carbón tal como se recibe. La relación en peso entre el primer ingrediente reductor de escoria y el segundo ingrediente reductor de escoria añadidos al carbón varía de 60:40 a 40:60.

60 En un aspecto adicional de acuerdo con la presente invención, se proporciona un procedimiento para reducir la formación de escoria en un horno de carbón. El procedimiento comprende la etapa de someter a combustión al carbón en el horno en presencia de un primer ingrediente reductor de escoria y un segundo ingrediente reductor de escoria en cantidades eficaces para reducir la formación de escoria en el horno. El primer ingrediente reductor de escoria es uno o más compuestos oxigenados de magnesio. El segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre el grupo que consiste en uno o más compuestos oxigenados de calcio. El carbón es un carbón bituminoso que exhibe una relación Si/Al de 2,19 a 2,85; una relación Fe/(Si+Al) de 0,12 a 0,32; y una relación Ca/(Si+Al) de 0,04 a 0,09. El primero y el segundo ingredientes reductores de escoria están presentes en una

cantidad de 100 a 2000 ppm en peso basada en el peso del carbón tal como se recibe. La relación en peso entre el primer ingrediente reductor de escoria y el segundo ingrediente reductor de escoria añadidos al carbón varía de 60:40 a 40:60.

5 En un aspecto adicional de acuerdo con la presente invención, se proporciona un procedimiento de tratamiento del carbón. El procedimiento comprende la etapa de introducir en el carbón una cantidad de un primer ingrediente reductor de escoria y una cantidad de un segundo ingrediente reductor de escoria. El primer ingrediente reductor de escoria es uno o más compuestos oxigenados de magnesio. El segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre el grupo que consiste en uno o más compuestos oxigenados de calcio. El carbón es un carbón bituminoso que exhibe una relación Si/Al de 2,19 a 2,85; una relación Fe/(Si+Al) de 0,12 a 0,32; y una relación Ca/(Si+Al) de 0,04 a 0,09. El primero y el segundo ingredientes reductores de escoria están presentes en una cantidad de 100 a 2000 ppm en peso basada en el peso del carbón tal como se recibe. La relación en peso entre el primer ingrediente reductor de escoria y el segundo ingrediente reductor de escoria añadidos al carbón varía de 60:40 a 40:60.

15 En un aspecto adicional de acuerdo con la presente invención, se proporciona un carbón tratado. El carbón tratado está constituido por el carbón y una cantidad de un primer ingrediente reductor de escoria introducido externamente y una cantidad de un segundo ingrediente reductor de escoria introducido externamente. El primer ingrediente reductor de escoria es uno o más compuestos oxigenados de magnesio. El segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre el grupo que consiste en uno o más compuestos oxigenados de calcio. El carbón es un carbón bituminoso que exhibe una relación Si/Al de 2,19 a 2,85; una relación Fe/(Si+Al) de 0,12 a 0,32; y una relación Ca/(Si+Al) de 0,04 a 0,09. El primero y el segundo ingredientes reductores de escoria están presentes en una cantidad de 100 a 2000 ppm en peso basada en el peso del carbón tal como se recibe. La relación en peso entre el primer ingrediente reductor de escoria y el segundo ingrediente reductor de escoria añadidos al carbón varía de 60:40 a 40:60.

20 Se divulga también otro procedimiento de funcionamiento de un horno de carbón para generar calor. El procedimiento comprende las etapas de a) suministrar el carbón al horno y b) someter a combustión al carbón en presencia de un primer ingrediente reductor de escoria y un segundo ingrediente reductor de escoria en cantidades eficaces para reducir la formación de escoria en el horno. El primer ingrediente reductor de escoria se selecciona entre uno o más compuestos oxigenados de silicio. El segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre uno o más compuestos oxigenados de aluminio.

30 Se divulga también otro procedimiento para reducir la formación de escoria en un horno de carbón. El procedimiento comprende la etapa de someter a combustión al carbón en el horno en presencia de un primer ingrediente reductor de escoria y un segundo ingrediente reductor de escoria en cantidades eficaces para reducir la formación de escoria en el horno. El primer ingrediente reductor de escoria se selecciona entre uno o más compuestos oxigenados de silicio. El segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre uno o más compuestos oxigenados de aluminio.

40 Se divulga también un procedimiento de tratamiento del carbón. El procedimiento comprende la etapa de introducir en el carbón una cantidad de un primer ingrediente reductor de escoria y una cantidad de un segundo ingrediente reductor de escoria. El primer ingrediente reductor de escoria se selecciona entre uno o más compuestos oxigenados de silicio. El segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre uno o más compuestos oxigenados de aluminio.

45 Se divulga también un carbón tratado. El carbón tratado está constituido por el carbón y una cantidad de un primer ingrediente reductor de escoria introducido externamente y una cantidad de un segundo ingrediente reductor de escoria introducido externamente. El primer ingrediente reductor de escoria se selecciona entre uno o más compuestos oxigenados de silicio. El segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre uno o más compuestos oxigenados de aluminio.

### Descripción de las figuras

55 La figura 1 es un gráfico de barras que muestra las temperaturas de fusión relativas de solo carbón, un control de carbón más carbonato de magnesio, y carbón más combinaciones de carbonato de magnesio y carbonato de calcio o nitrato de aluminio monohidrato.

60 La figura 2 es una representación gráfica de un sistema de caldera útil para llevar a cabo la presente invención.

La figura 3 es un gráfico de la posición de inclinación del quemador de un sistema de caldera que quema un carbón bituminoso ILB tratado de la presente invención.

### Descripción detallada de la divulgación

65 La presente divulgación permite una reducción de la escorificación en el funcionamiento de hornos de carbón. Se

emplean combinaciones de compuestos oxigenados para efectuar las reducciones sinérgicas de la escorificación.

Las combinaciones de agentes reductores de escoria son útiles con cualquier tipo de carbón, tal como carbones de antracita, bituminosos, sub-bituminosos y de lignito. Un tipo de carbón bituminoso usado frecuentemente es el ILB (*Illinois Basin* o cuenca de Illinois). Un tipo de carbón sub-bituminoso usado frecuentemente es el PRB (*Powder River basin* o cuenca del río Powder).

El primer ingrediente reductor de escoria actúa reduciendo la formación de escoria con respecto a la combustión sin tal primer ingrediente reductor de escoria. El primer ingrediente reductor de escoria puede funcionar también como catalizador de combustión para mejorar la oxidación del carbón.

El segundo ingrediente reductor de escoria actúa sinérgicamente con el primer ingrediente reductor de escoria para reducir de forma significativa la formación de escoria respecto a la combustión con el primer ingrediente reductor de escoria solo. La velocidad de formación de escoria con el segundo ingrediente reductor de escoria disminuye preferentemente en un factor de aproximadamente 10 a aproximadamente 100 en comparación con la presencia del primer ingrediente reductor de escoria solo. La formación de escoria y la velocidad de formación de la escoria se pueden medir mediante técnicas conocidas en la técnica, tal como la sonda de alta temperatura divulgada en el documento US 2008/0291965. La sonda usa el diferencial de temperatura como una función del tiempo para determinar la formación y el depósito de escoria.

El primer ingrediente reductor de escoria es uno o más compuestos oxigenados de magnesio. Ejemplos de compuestos de magnesio incluyen carbonato de magnesio, hidróxido de magnesio, sulfato de magnesio, óxido de magnesio y combinaciones de los mismos. Un primer ingrediente reductor de escoria preferente es el hidróxido de magnesio. El segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre uno o más compuestos oxigenados de calcio. Ejemplos de compuestos oxigenados de calcio incluyen óxido de calcio, hidróxido de calcio, carbonato de calcio, nitrato de calcio y acetato de calcio y combinaciones de cualquiera de los anteriores.

La realización anterior, que emplea combinaciones de compuestos oxigenados de magnesio y compuestos oxigenados de calcio, es particularmente eficaz con carbón bituminoso ILB (*Illinois Basin* o cuenca de Illinois).

Los ingredientes reductores de escoria se añaden al carbón en cantidades preferentemente de hasta 4000 ppm y, más preferentemente, de hasta 2000 ppm basadas en el peso de las cenizas en el carbón, que normalmente es de aproximadamente un 2 % en peso a aproximadamente un 3 % en peso del peso total del carbón. La composición y la proporción de las cenizas en el carbón varían de una muestra de carbón a otra. Los límites superiores indicados para las cantidades de los agentes reductores de escoria son preferentes debido a consideraciones económicas, aunque son posibles y utilizables cantidades superiores. En otra realización, se puede usar una cantidad de aproximadamente 100 ppm a aproximadamente 1000 ppm de ingredientes reductores de escoria basada en el peso del carbón tal como se recibe. En otra realización, se puede usar una cantidad de aproximadamente 500 ppm a aproximadamente 750 ppm de ingredientes reductores de escoria basada en el peso del carbón tal como se recibe. Los ingredientes reductores de escoria se emplean preferentemente en cantidades suficientes para aumentar la temperatura de fusión de las cenizas del carbón. Mayores temperaturas de fusión de las cenizas se asocian a una escorificación menor.

El carbón tratado es un carbón bituminoso que tiene las siguientes relaciones entre metales (antes de la mezcla con los agentes reductores de escoria): una relación Si/Al de aproximadamente 2,19 a aproximadamente 2,85; una relación Fe/(Si+Al) de aproximadamente 0,12 a aproximadamente 0,32; y una relación Ca/(Si+Al) de aproximadamente 0,04 a aproximadamente 0,09. Los contenidos de metal se determinan de acuerdo con el ensayo ASTM de minerales de las cenizas de un carbón. Tales relaciones se refieren al contenido de metales encontrado en un carbón ILB. El primer ingrediente reductor de escoria y el segundo ingrediente reductor de escoria se añaden al carbón en una cantidad que varía de 60:40 a 40:60, siendo el primer ingrediente reductor de escoria uno o más compuestos oxigenados de magnesio y siendo el segundo ingrediente reductor de escoria uno o más compuestos oxigenados de calcio. Los ingredientes reductores de escoria se añaden al carbón bituminoso en cantidades preferentemente de hasta 4000 ppm y, más preferentemente, de hasta 2000 ppm basadas en el peso de las cenizas en el carbón bituminoso, que normalmente es de aproximadamente un 2 % en peso a aproximadamente un 3 % en peso del peso total del carbón bituminoso. La composición y la proporción de las cenizas en el carbón bituminoso varían de una muestra de carbón a otra. Los límites superiores indicados para los ingredientes reductores de escoria son preferentes debido a consideraciones económicas, aunque son posibles y utilizables cantidades superiores. En otra realización, se puede usar una cantidad de aproximadamente 100 ppm a aproximadamente 1000 ppm de ingredientes reductores de escoria basada en el peso del carbón bituminoso tal como se recibe. En otra realización, se puede usar una cantidad de aproximadamente 500 ppm a aproximadamente 750 ppm de ingredientes reductores de escoria basada en el peso del carbón bituminoso tal como se recibe. Los ingredientes reductores de escoria se emplean preferentemente en cantidades suficientes para aumentar la temperatura de fusión de las cenizas del carbón bituminoso.

Opcionalmente, se pueden añadir ingredientes reductores de escoria oxigenados adicionales al primero y al segundo ingredientes reductores de escoria a fin de conseguir una reducción adicional en la escorificación y otras sinergias.

Por ejemplo, una combinación consiste en añadir un compuesto o compuestos oxigenados de aluminio al compuesto o compuestos oxigenados de magnesio y al compuesto o compuestos oxigenados de calcio y, opcionalmente, al compuesto o compuestos oxigenados de silicio, para formar una combinación con compuestos oxigenados de tres o cuatro metales diferentes (Al + Mg + Ca y opcionalmente Si). Otros ingredientes reductores de escoria que se pueden emplear con el primero y el segundo ingredientes reductores de escoria incluyen compuestos oxigenados de cobre y fosfato de amonio. Compuestos oxigenados de cobre útiles incluyen acetato de cobre, nitrato de cobre, óxido de cobre y carbonato de cobre.

Los ingredientes reductores de escoria se pueden añadir directamente al horno o la caldera en forma líquida o en polvo, o se pueden añadir al carbón tal como se recibe antes de transportar el carbón al horno o a la caldera. Si se desea, los ingredientes se pueden añadir en un quemador o quemadores directamente a una llama o llamas mediante un alimentador de carbón o tuberías de carbón. Formas líquidas adecuadas incluyen soluciones y suspensiones. Un disolvente o vehículo preferente es el agua. Un líquido se pulveriza preferentemente sobre el carbón antes del depósito del carbón o en alimentadores gravimétricos antes de la pulverización o antes del ciclonado.

Una realización del procedimiento de la presente divulgación se expone en la figura 2 en forma de un sistema de caldera 10. El sistema 10 tiene una caldera 12. La corriente de alimentación 14 proporciona un conducto para alimentar el carbón, un primer aditivo y un segundo aditivo a la caldera 12 a través del quemador 17. Las corrientes de alimentación 20 y 22 proporcionan conductos para alimentar agua y aire, respectivamente, a la caldera 12. La corriente de salida 24 emite vapor producido en la caldera 12. La corriente de salida 26 emite gases de escape. El vapor se puede emplear para suministrar calor o para impulsar una turbina y un generador eléctrico (no mostrado). El agua condensada y/o el calor residual se pueden reciclar al sistema de caldera 10 a través de la corriente 20 u otro conducto (no mostrado).

Los siguientes son ejemplos de la presente divulgación y no se deben interpretar como limitantes. Todas las partes y porcentajes son en peso a menos que se indique lo contrario.

## Ejemplos

### Ejemplo 1

Se prepararon mezclas de carbón y combinaciones de ingredientes reductores de escoria de la presente divulgación y se ensayaron para determinar su temperatura de fusión. Los resultados se compararon con las temperaturas de fusión obtenidas para solo carbón (comparativo) y una mezcla de carbón con solo un agente reductor de escoria (control). Sin desear quedar ligado a teoría alguna, se cree que el aumento de la temperatura de fusión del carbón disminuye la probabilidad de formación de escoria tras la combustión del mismo.

El carbón empleado era Highland, un carbón bituminoso ILB. Se usó carbonato de magnesio ( $MgCO_3$ ) como agente reductor de escoria excepto en el comparativo. Se emplearon carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ) y nitrato de aluminio monohidrato de forma alternativa como segundo ingrediente reductor de escoria excepto en el control.

El carbón y los ingredientes reductores de escoria se mezclaron en una tolva. Se recogieron muestras y se ensayaron para determinar su temperatura de fusión (temperatura de fusión final) de acuerdo con la temperatura de fusión de las cenizas según la ASTM.

Las temperaturas de fusión para solo el carbón y para el carbón +  $MgCO_3$  eran comparables. Por el contrario, las temperaturas de fusión de las mezclas de carbón y dos ingredientes reductores de escoria ( $MgCO_3$  y  $CaCO_3$ ) de la presente divulgación eran considerablemente más altas, de al menos 38 °C (100 °F) más, en comparación con el control con solo un agente reductor de escoria. La diferencia de la temperatura de fusión entre mezclas con uno frente a dos ingredientes reductores de escoria demuestra el efecto sinérgico del uso de dos ingredientes reductores de escoria. Los resultados se exponen en la Figura 1.

### Ejemplo 2

Se prepararon mezclas de carbón y combinaciones de ingredientes reductores de escoria de la presente divulgación y se quemaron en un horno de carbón. Se evaluó la eficacia de la combinación del carbonato de calcio y el carbonato de magnesio frente al carbonato de magnesio solo (control).

El carbón usado era un carbón bituminoso ILB que tenía un contenido de metales en los siguientes intervalos de proporciones: una relación Si/Al de aproximadamente 2,19 a aproximadamente 2,85; una relación Fe/(Si+Al) de aproximadamente 0,12 a aproximadamente 0,32; y una relación Ca/(Si+Al) de aproximadamente 0,04 a aproximadamente 0,09. Los ingredientes reductores de escoria usados eran 1000 ppm de Coal Treat 500 (CT-500) (carbonato de magnesio) y 1500 ppm de Coal Treat 600 (CT-600) (carbonato de calcio) (ambos de EES, Inc.), cantidades basadas en el peso del carbón. En la primera parte de la operación, se añadieron el carbonato de magnesio y el carbonato de calcio al carbón. En la última parte de la operación, solo se añadió el carbonato de

magnesio al carbón.

- 5 La eficacia de la reducción de escoria se evaluó usando la posición de inclinación (ángulo de posición) de los quemadores en el horno. La posición de inclinación de los quemadores se mide en grados, siendo la inclinación de cero grados un punto de referencia cuando un quemador es normal o perpendicular a una pared del horno. Cuando el quemador se inclina hacia arriba, el ángulo es positivo y cuando el quemador se inclina hacia abajo, el ángulo es negativo. La pared del horno contiene tubos de intercambio de calor a través de los cuales circula agua. El calor del horno hace que el agua forme vapor, el cual se usa para impulsar un generador a fin de generar electricidad.
- 10 Cuando se forma escoria en los tubos, la eficacia de la transferencia de calor a los tubos disminuye. Para compensar esta disminución de eficacia de la transferencia de calor, el sistema de control dentro del horno reorienta el quemador o quemadores hacia arriba para incrementar la temperatura en la sección superior del horno. Cuanto más positivo es el ángulo de inclinación, mayor es la disminución de eficacia. Un ángulo de inclinación cero o negativo indica que la escorificación es limitada o inexistente.
- 15 La figura 3 muestra un gráfico de los ángulos de inclinación de dos quemadores en un horno en funcionamiento que quema la mezcla de carbón descrita previamente. Para la mayor parte de la operación, el carbón contenía los dos ingredientes reductores de escoria, el carbonato de magnesio y el carbonato de calcio, y exhibía altos niveles de eficacia de la transferencia de calor tal como indican los ángulos de inclinación negativos o los ángulos de inclinación positivos próximos a cero. Al final de la operación, sin embargo, solo se añadió carbonato de magnesio al carbón (no se añadió carbonato de calcio). Tal como se muestra en la figura 3, los ángulos de inclinación eran en su mayoría positivos lo que indicaba que se había producido un grado sustancial de escorificación en los tubos. Por tanto el
- 20 horno funciona con menor escorificación y mayor eficacia con la combinación de carbonato de magnesio y carbonato de calcio que con solo carbonato de magnesio.

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de funcionamiento de un horno de carbón para generar calor, que comprende:

- 5 a) suministrar el carbón al horno; y  
 b) someter a combustión al carbón en presencia de un primer ingrediente reductor de escoria y un segundo ingrediente reductor de escoria en cantidades eficaces para reducir la formación de escoria en el horno,

10 donde el primer ingrediente reductor de escoria es uno o más compuestos oxigenados de magnesio, donde el segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre el grupo que consiste en uno o más compuestos oxigenados de calcio, y donde el carbón es un carbón bituminoso que exhibe una relación en peso Si/Al de 2,19 a 2,85; una relación en peso Fe/(Si+Al) de 0,12 a 0,32; y una relación en peso Ca/(Si+Al) de 0,04 a 0,09; donde el primero y el segundo ingredientes reductores de escoria están presentes en una cantidad de 100 a 2000 ppm en peso basada en el peso del carbón tal como se recibe; y  
 15 donde la relación en peso entre el primer ingrediente reductor de escoria y el segundo ingrediente reductor de escoria añadidos al carbón varía de 60:40 a 40:60.

2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, donde el uno o más compuestos oxigenados de magnesio se seleccionan entre el grupo que consiste en carbonato de magnesio, hidróxido de magnesio, sulfato de magnesio, óxido de magnesio y combinaciones de los mismos; y donde el uno o más compuestos oxigenados de calcio se seleccionan entre el grupo que consiste en óxido de calcio, hidróxido de calcio, carbonato de calcio, nitrato de calcio y acetato de calcio.

20

3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, donde el primero y el segundo ingredientes reductores de escoria están presentes en una cantidad de 100 a 1000 ppm en peso basada en el peso del carbón tal como se recibe.

25

4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, donde el primero y el segundo ingredientes reductores de escoria se añaden al carbón antes de suministrar el carbón al horno.

30

5. Un procedimiento para reducir la formación de escoria en un horno de carbón, que comprende someter a combustión al carbón en el horno en presencia de un primer ingrediente reductor de escoria y un segundo ingrediente reductor de escoria en cantidades eficaces para reducir la formación de escoria en el horno, donde el primer ingrediente reductor de escoria es uno o más compuestos oxigenados de magnesio, donde el segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre el grupo que consiste en uno o más compuestos oxigenados de calcio, y donde el carbón es un carbón bituminoso que exhibe una relación Si/Al de 2,19 a 2,85; una relación Fe/(Si+Al) de 0,12 a 0,32; y una relación Ca/(Si+Al) de 0,04 a 0,09; donde el primero y el segundo ingredientes reductores de escoria están presentes en una cantidad de 100 a 2000 ppm en peso basada en el peso del carbón tal como se recibe; y  
 35 donde la relación en peso entre el primer ingrediente reductor de escoria y el segundo ingrediente reductor de escoria añadidos al carbón varía de 60:40 a 40:60.

40

6. Un procedimiento de tratamiento del carbón, que comprende:  
 añadir al carbón una cantidad de un primer ingrediente reductor de escoria y una cantidad de un segundo ingrediente reductor de escoria, donde el primer ingrediente reductor de escoria es uno o más compuestos oxigenados de magnesio y donde el segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre el grupo que consiste en uno o más compuestos oxigenados de calcio, y donde el carbón es un carbón bituminoso que exhibe una relación en peso Si/Al de 2,19 a 2,85; una relación en peso Fe/(Si+Al) de 0,12 a 0,32; y una relación en peso Ca/(Si+Al) de 0,04 a 0,09;  
 45 donde el primero y el segundo ingredientes reductores de escoria se añaden al carbón en una cantidad de 100 a 2000 ppm en peso basada en el peso del carbón tal como se recibe; y  
 donde la relación en peso entre el primer ingrediente reductor de escoria y el segundo ingrediente reductor de escoria añadidos al carbón varía de 60:40 a 40:60.

50

7. Un carbón tratado, que comprende el carbón y una cantidad de un primer ingrediente reductor de escoria introducido externamente y una cantidad de un segundo ingrediente reductor de escoria introducido externamente, y donde el primer ingrediente reductor de escoria es uno o más compuestos oxigenados de magnesio, y donde el segundo ingrediente reductor de escoria se selecciona entre el grupo que consiste en uno o más compuestos oxigenados de calcio, y donde el carbón es un carbón bituminoso que exhibe una relación en peso Si/Al de 2,19 a 2,85; una relación en peso Fe/(Si+Al) de 0,12 a 0,32; y una relación en peso Ca/(Si+Al) de 0,04 a 0,09; donde el primero y el segundo ingredientes reductores de escoria están presentes en una cantidad de 100 a 2000 ppm en peso basada en el peso del carbón tal como se recibe; y  
 55 donde la relación en peso entre el primer ingrediente reductor de escoria y el segundo ingrediente reductor de escoria añadidos al carbón varía de 60:40 a 40:60.

60

65



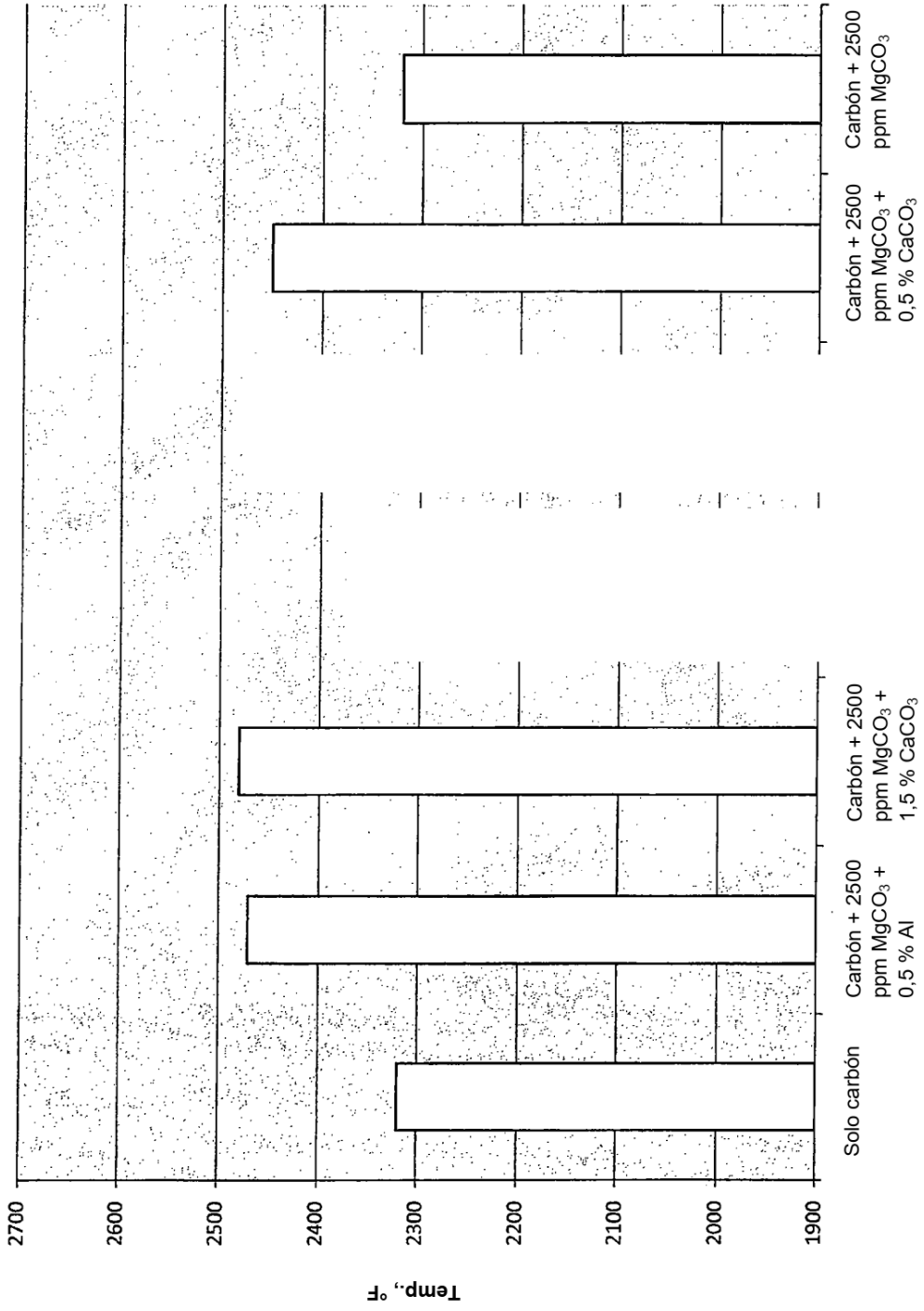
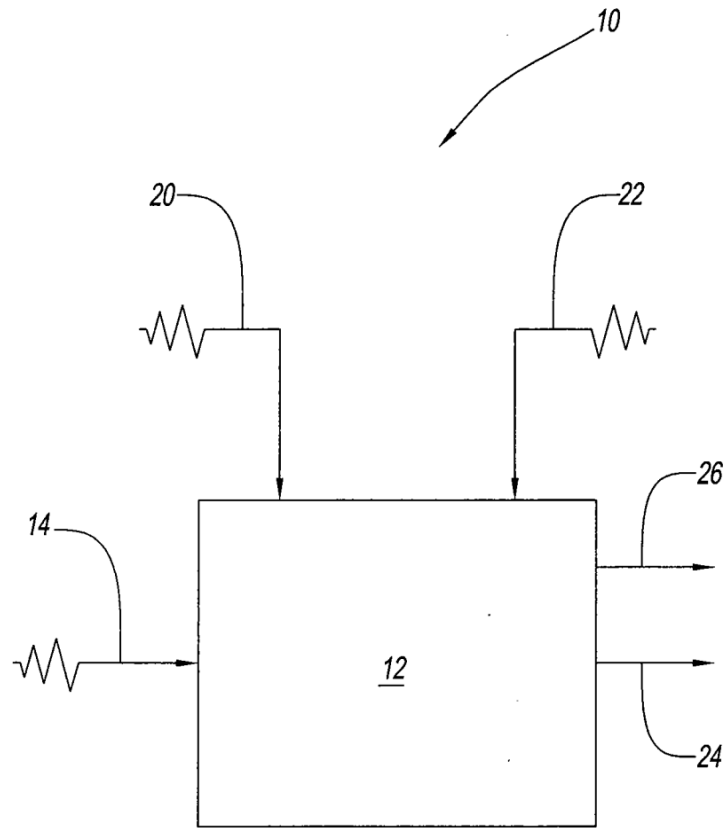


FIG. 1



**FIG. 2**

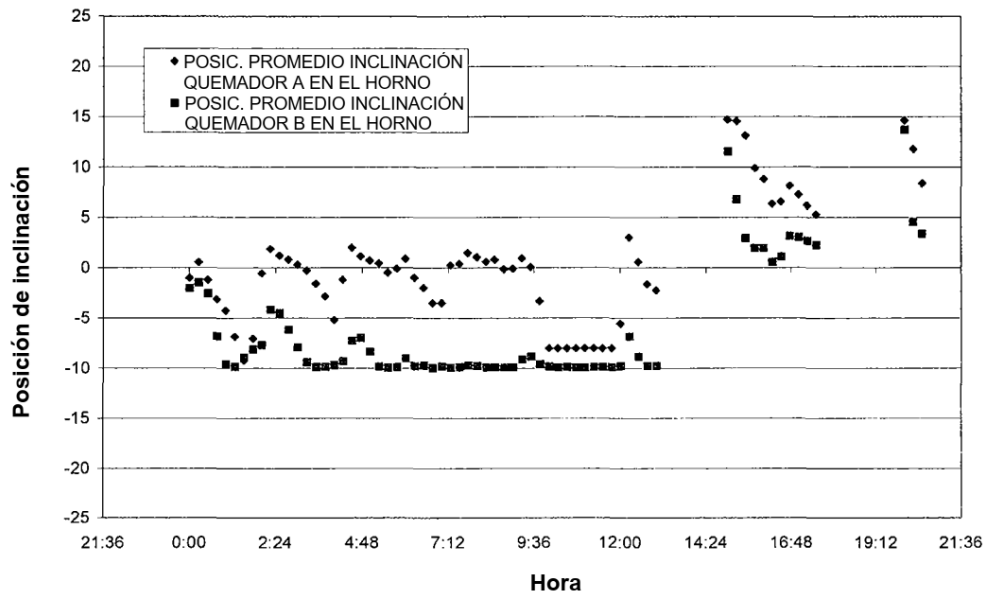


FIG. 3