

MEZCLAS DE CARBÓN, PRODUCTOS DE COQUE DE FUNDICIÓN, Y SISTEMAS, DISPOSITIVOS Y MÉTODOS ASOCIADOS

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

[0001] Esta solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente provisional estadounidense n.º 63/382,446, presentada el 4 de noviembre de 2022, cuya descripción se incorpora a la presente en su totalidad mediante referencia.

CAMPO TÉCNICO

[0002] Esta solicitud se refiere a mezclas de carbón, productos de coque de fundición, y sistemas, dispositivos y métodos asociados.

10 ANTECEDENTES

[0003] El coque se puede dividir en varias subcategorías. El coque de fundición tiene un tamaño grande en comparación con el coque de alto horno y es de una calidad excepcional, incluyendo una relativa baja cantidad de impurezas, y un contenido de carbono, resistencia y estabilidad relativamente altos. El coque de fundición se utiliza en los hornos de cubilote de fundición para fundir hierro y producir productos de hierro fundido y hierro dúctil. Sin embargo, el costo de producción del coque de fundición, incluido el costo de fabricación, el costo de transporte y el costo ambiental, es alto. Por lo tanto, existe una necesidad en la técnica de mejorar el proceso de producción para obtener de ese modo coque de fundición de alta calidad con un rendimiento mayor o un costo menor.

[0004] El coque es un combustible de carbono sólido y una fuente de carbono producido a partir del carbón que se utiliza en la producción de acero. El carbón se puede obtener a partir de una combinación de diferentes fuentes de carbón y, a menudo, posee calidades y composiciones muy diferentes. Estos recursos pueden utilizarse como combustible o materia prima para una amplia gama de aplicaciones, tales como la producción de acero, la producción de cemento y la generación de electricidad. Además, la diversidad de entornos normativos o incentivos económicos puede crear requisitos adicionales para los tipos de carbón que una fundición, fábrica o planta específica está autorizada a utilizar.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[0005] Las características, aspectos y ventajas de la tecnología descrita en la presente se pueden comprender mejor con respecto a las siguientes figuras.

[0006] La FIGURA 1 muestra un sistema esquemático ilustrativo para obtener parámetros de

carbón para múltiples tipos de carbón y determinar una formulación de mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0007] La FIGURA 2 representa una vista isométrica en corte parcial de una parte de una planta de coque de recuperación de calor horizontal, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0008] La FIGURA 3 es una tabla que indica las fracciones de materia volátil (VM) para diferentes tipos de carbones utilizables en una mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0009] La FIGURA 4 es una tabla que indica las propiedades asociadas con diferentes tipos de carbones utilizados en una mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0010] La FIGURA 5 es una tabla que indica la composición asociada con diferentes tipos de carbones utilizados en una mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0011] La FIGURA 6 es una tabla que indica mediciones adicionales asociadas con diferentes tipos de carbones utilizados en una mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0012] La FIGURA 7 es un diagrama de flujo de un proceso para determinar una formulación de mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0013] La FIGURA 8 es un diagrama de flujo de un proceso para producir un producto de coque mediante el uso de un horno de coque, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0014] La FIGURA 9 es un gráfico que muestra un perfil de combustión para una operación de un producto de coque de alto horno.

[0015] La FIGURA 10 es un gráfico que muestra un perfil de combustión para un producto de coque de fundición de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0016] La FIGURA 11 ilustra una partícula de coque configurada para calentarse en un horno de cubilote de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0017] La FIGURA 12 representa un producto de coque de fundición ilustrativo y una tabla de propiedades del coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0018] La FIGURA 13 es un gráfico que indica el rendimiento del producto de coque de fundición de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0019] La FIGURA 14 es un gráfico que indica el tamaño de las partículas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

5 **[0020]** La FIGURA 15 es un gráfico que indica las propiedades resistencia al impacto por caída de 4 pulgadas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0021] La FIGURA 16 es un gráfico que indica las propiedades resistencia al impacto por caída de 6 pulgadas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

10 **[0022]** La FIGURA 17 es un gráfico que indica una fracción en masa de cenizas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0023] La FIGURA 18 es un gráfico que indica una fracción en masa de humedad, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0024] La FIGURA 19 es un gráfico que indica una fracción en masa de azufre, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

15 **[0025]** La FIGURA 20 es un gráfico que representa fracciones en masa de SiO_2 frente a fracciones en masa de Al_2O_3 en las cenizas de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

20 **[0026]** La FIGURA 21 es un gráfico que representa fracciones en masa de Fe_2O_3 frente a fracciones en masa de CaO en las cenizas de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0027] La FIGURA 22 es un gráfico que muestra las temperaturas de ablandamiento de cenizas frente a las temperaturas de fusión de cenizas modeladas de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

25 **[0028]** La FIGURA 23 es un gráfico que muestra las temperaturas de ablandamiento de cenizas frente a fracciones en masa de cenizas de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

30 **[0029]** La FIGURA 24 es un gráfico que representa las temperaturas de fusión de cenizas observadas frente a las temperaturas de fusión de cenizas modeladas de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología.

[0030] Un experto en la técnica comprenderá que los elementos que se muestran en las figuras

son ilustrativos, y que son posibles variaciones, e incluyen elementos y disposiciones diferentes o adicionales de estas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

I. Descripción general

5 **[0031]** El coque de fundición es un coque de un tamaño relativamente grande y de una calidad excepcional, tal como un contenido muy bajo de impurezas y un contenido de carbono fijo, resistencia y estabilidad muy altos. El coque de fundición se utiliza en los hornos de cubilote para fundir hierro y acero reciclado y como fuente de carbono producir productos de hierro fundido y hierro dúctil. Sin embargo, el costo de producción del coque de fundición, incluido el
10 costo de fabricación, el costo de transporte y el costo ambiental, es alto. Por lo tanto, existe una necesidad en la técnica de mejorar el proceso de producción para obtener de ese modo coque de fundición de alta calidad con un rendimiento mayor o un costo menor. El coque elaborado tradicionalmente suele tener una temperatura de fusión de cenizas (AFT) superior a 2650 grados Fahrenheit (°F). Debido a esta alta temperatura, las cenizas se derriten más
15 profundamente en el horno de cubilote, lo que reduce la superficie disponible para el coque expuesta al metal fundido. Como resultado, se transfiere menos carbono al hierro.

[0032] Los productos de coque descritos en la presente para la presente tecnología tienen una AFT inferior a 2600 °F y, por lo tanto, se funden más alto en el horno de cubilote, aumentando de ese modo la cantidad de superficie de carbono expuesta al metal fundido. Además, desde el
20 punto de vista de la viscosidad, una AFT baja permite que la ceniza fundida se mueva a través del lecho de carbón más rápidamente y produce a una mejor separación de fases en la sección del pozo del horno de cubilote para permitir un mayor contacto entre el carbón y el metal fundido. Tal como se usa en la presente, el término «metal fundido» se refiere a hierro fundido, acero fundido o la mezcla fundida final de hierro fundido y acero fundido.

25 **[0033]** Una AFT puede obtenerse de varias maneras y puede separarse en diferentes tipos de AFT. En algunas modalidades, se puede medir una AFT a partir de una muestra de ceniza creada al combustionar un carbón, una mezcla de carbón o un producto de coque hasta su finalización. El análisis elemental de cenizas puede realizarse en cada elemento; por ejemplo, los átomos de silicio individuales crean una señal en el instrumento analítico. Para obtener un
30 valor de porcentaje de masa utilizado para el cálculo del modelo de fusión de cenizas, algunas modalidades de la presente tecnología pueden tratar todos los elementos como completamente

oxidados y determinar un porcentaje de masa basado en formas oxidadas. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar la masa de SiO_2 , pero no la masa de Si. En algunas modalidades, los porcentajes de masa de SiO_2 , Al_2O_3 , FeO_3 , CaO , otros compuestos, etc., se pueden normalizar para que sumen 100 %.

5 **[0034]** De manera alternativa o adicional, una AFT se puede medir mediante una prueba de AFT, tal como un método D1857 estándar de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM). Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una temperatura de deformación inicial (IDT), una temperatura de ablandamiento (ST), una temperatura hemisférica (HT) y una temperatura de flujo (FT). Estas temperaturas
10 medidas pueden tener valores diferentes entre sí y pueden usarse para caracterizar un carbón, una mezcla de carbón o un producto de coque particular. Además, tal como se analiza en otra parte, la composición de las cenizas que quedan de la combustión de un carbón o mezcla de carbón se considera la misma que la de las cenizas que quedan después de la combustión de un producto de coque producido a partir del carbón o la mezcla de carbón. Algunas modalidades
15 pueden caracterizar una composición de cenizas de la mezcla de carbón como el promedio ponderado de las composiciones de cenizas de los componentes de carbón ponderadas por sus respectivas fracciones en masa en la mezcla de carbón.

[0035] Además, la operación tradicional también puede agregar rocas que contienen CaCO_3 a la carga para usarlas como fundente para eliminar las cenizas. El CaCO_3 penetra en las cenizas
20 para bajar la AFT, o la propia ceniza se disuelve en las rocas que contienen CaCO_3 . Dada la muy baja proporción de superficie respecto a volumen para que se produzca el proceso de fluxado, esta es una forma ineficiente de introducir un agente fundente. En función del descubrimiento inesperado del impacto de una AFT baja en la transferencia de carbono deseada que se describe en la presente, el coque se puede «prefluxar» al seleccionar carbones
25 o mezclas de carbón que tengan cenizas que sean proporcionalmente más altas en los óxidos de bajo punto de fusión, tales como CaO , MgO , Fe_2O_3 , Na_2O y K_2O , que en los óxidos de alto punto de fusión de Al_2O_3 y SiO_2 .

[0036] En un horno de cubilote de fundición, el coque se utiliza como combustible y fuente de carbono para producir hierro fundido. El coque proporciona cuatro funciones en el horno de cubilote: (1) proporcionar calor de la combustión para fundir el hierro o el acero; (2) suministrar
30 carbono al hierro; (3) proporcionar soporte estructural para la carga de hierro o acero; y (4) crear

capas permeables a los gases que permitan que los gases viajen hacia arriba y se propaguen para proporcionar un buen contacto con el hierro o el acero.

[0037] Algunas modalidades pueden realizar las operaciones descritas en esta descripción para producir productos de coque que permitan una mayor tasa de transferencia de carbono al hierro o acero durante las operaciones de fundición, lo que puede dar como resultado un mejor rendimiento del horno de cubilote. Algunas modalidades pueden utilizar uno de varios tipos de hornos para producir productos de coque, tales como un horno de recuperación de calor, un horno sin recuperación, un horno Thompson, otro tipo de horno horizontal, un horno de subproductos vertical, etc.

II. Mezclas de carbón para producir productos de coque de fundición, y sistemas y métodos asociados

[0038] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar operaciones para aumentar la eficiencia de las operaciones de producción de productos de coque de una manera que pueda reducir el consumo de energía y aumentar el rendimiento. Estas operaciones pueden incluir determinar la composición de las mezclas de carbón utilizadas para producir un producto de coque, en donde la composición de una mezcla de carbón puede incluir carbones de diferentes fuentes de carbón. Algunas modalidades pueden seleccionar carbones específicos por su contenido de VM, donde el contenido y la distribución de VM pueden determinar el efecto en el rendimiento del producto de coque, las propiedades del producto de coque, etc. Algunas modalidades pueden realizar, además, procesos específicos al producir un producto de coque con un horno de coque, donde tales procesos pueden incluir abrir o cerrar válvulas de un horno de coque para mantener ciertas relaciones de temperatura dentro de las secciones del horno de coque. Estos resultados pueden dar como resultado productos de coquización que son únicos en comparación con otros productos de coquización con respecto a la reactividad, el tamaño u otras propiedades.

[0039] La FIGURA 1 muestra un sistema ilustrativo 100 para obtener parámetros de carbón para múltiples tipos de carbón 112, 113, 114, 116 (denominados colectivamente «carbones 110») y determinar una formulación de mezcla de carbón 140, de acuerdo con una o más modalidades. Se pueden utilizar diversas instalaciones y equipos para mezclar los carbones 110 de diversas fuentes para formar la mezcla de carbón 140. En algunas modalidades, no todos los tipos de carbón que se muestran en la FIGURA 1 se utilizan para formar la mezcla de carbón 140 (por

ejemplo, solo se usa carbón tipo A 112 y carbón tipo B 113). Cada uno de los carbones 110 puede evaluarse mediante el uso de un sistema de medición de parámetros de carbón 120 para determinar los parámetros de carbón, tales como una fracción en masa de VM, medición de la composición de cenizas, medición de la composición de azufre, composición de materia inerte, etc. Algunas modalidades también pueden usar otras propiedades del carbón, tales como la fluidez del alquitrán en el carbón y la AFT para el carbón, reflectancia de vitrinita, etc., al seleccionar el tipo o la cantidad de carbones a usar para una mezcla de carbón. De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden obtener parámetros de carbón de una fuente de datos de terceros (por ejemplo, una interfaz de programa de aplicación (API) de base de datos, o la entrada manual de un usuario en un dispositivo de entrada, tal como un teclado o una pantalla táctil, etc.).

[0040] En algunas modalidades, los parámetros de carbón pueden considerar mediciones de componentes reactivos o subtipos de componentes reactivos, tales como vitrinita, liptinita y semifusinita reactiva. Los parámetros de carbón también pueden incluir mediciones o seleccionar una cantidad de material inerte para incluir en una mezcla de carbón, tal como finos, semifusinita inerte, fusinita, macrinita y materia mineral. En algunas modalidades, el contenido inerte de una mezcla de carbón puede ser mayor o igual a 32,0 %, o puede restringirse a un intervalo particular, tal como entre 28,0 %–40,0 %, o entre 33,0 %–35,0 %. Algunas modalidades pueden determinar el tipo y la cantidad de carbones, finos y otros componentes de una mezcla de carbón para satisfacer un conjunto de parámetros de mezcla de carbón objetivo o el parámetro de mezcla de coque objetivo correspondiente, tal como un parámetro de mezcla de carbón objetivo, que indica un coque uniforme fuerte. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden seleccionar los tipos de vitrinitas que están presentes en una mezcla de carbón, donde los tipos de vitrinita pueden incluir uno o más de V9, V10, V11, V12, V13, V14, V15, V16, V17, V18 y V19.

[0041] Después de obtener los parámetros de carbón para los carbones 110, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar combinaciones de tipos de carbón de los carbones 110. Por ejemplo, una primera combinación de tipos de carbón puede incluir 20 % de carbón tipo A 112, 30 % de carbón tipo B 113, 40 % de carbón tipo C 114 y 10 % de carbón tipo D 115. Algunas modalidades pueden representar cada combinación de tipos de carbón con un vector en un espacio de mezcla de n dimensiones, donde «n» puede representar

un número entero igual o menor que el número de tipos de carbón disponibles utilizables para generar una mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden representar la primera combinación con un vector [0,2, 0,3, 0,4, 0,1] para representar un punto de mezcla, donde el punto de mezcla puede indicar la cantidad proporcional de cada carbón en la mezcla de carbón. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden agregar aditivos a una mezcla de carbón. Dichos aditivos pueden incluir óxido de calcio, piedra caliza, un material que contiene calcio, trona, ceniza de soda, soda cáustica, escoria (por ejemplo, escoria de fusión con bajo contenido de cenizas, escoria de horno de oxígeno básico (BOF), escoria de horno de cubilote, etc.), hierro, níquel, potasio, magnesio, sodio, sulfato de calcio, lana de roca, biocarbón o biomasa (por ejemplo, una biomasa con AFT baja). De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden agregar aditivos minerales, tales como dolomita, otros minerales que contienen calcio, minerales que contienen hierro, minerales que contienen magnesio o minerales que contienen sodio. Algunas modalidades pueden usar óxidos metálicos como aditivos para una mezcla de carbón, tales como Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O o TiO , óxidos de metales de transición y minerales calcinados. Algunas modalidades pueden agregar aditivos de haluro metálico, tales como CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl . Algunas modalidades pueden agregar aditivos de sulfatos metálicos a una mezcla de carbón, tales como CaSO_4 . Algunas modalidades pueden agregar aditivos de minerales de aluminio o silicio a una mezcla de carbón, como cuarzo, moscovita o feldespato. Algunas modalidades pueden agregar aditivos de desechos industriales o corrientes de reciclaje, tales como escoria de alto horno, escoria de horno de cubilote de fundición, finos metálicos, desechos de paneles de yeso, subproductos de gas de plantas de desulfuración de gases de combustión (por ejemplo, cenizas volantes), cenizas volantes de plantas de combustión de carbón, lodo de lavado de generadores de vapor de recuperación de calor o carbón sin lavar.

[0042] Una vez que se agrega un aditivo, la mezcla de carbón puede tener una fracción en masa de calcio, una fracción en masa de cal, una fracción en masa de trona, una fracción en masa de cenizas de soda, una fracción en masa de soda cáustica, una fracción en masa de escoria de fusión baja en cenizas, una fracción en masa de escoria BOF, una fracción en masa de escoria de horno de cubilote, una fracción en masa de hierro, una fracción en masa de níquel, una fracción en masa de potasio, una fracción en masa de magnesio, una fracción en masa de sodio, una fracción en masa de sulfato de calcio, una fracción en masa de lana de roca, una

fracción en masa de biocarbón, una fracción en masa de biomasa u otra fracción en masa de aditivo mayor que 0 %, pero menor que un umbral predeterminado. El umbral puede variar según modalidades particulares y se puede configurar de modo que la fracción en masa de aditivo sea menor que 10,0 %, menor que 5,0 %, menor que 3,0 %, menor que 1,0 %, etc.

- 5 Mediante el uso de una pequeña cantidad de los aditivos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden reducir significativamente un valor de fusión de la ceniza u otra propiedad que aumente la eficiencia de un producto de coque. De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden incluir una mayor cantidad de aditivos, donde la mezcla de carbón puede incluir más de 10,0 % de un aditivo. Por ejemplo, algunas modalidades
- 10 de la presente tecnología pueden usar un aditivo que tiene una fracción en masa de óxido de calcio mayor que 70,0 %, donde la inclusión del aditivo puede aumentar la fracción en masa de óxido de calcio de una mezcla de carbón hasta más de 10,0 %. A menos que se indique lo de otro modo, una fracción en masa de un elemento puede hacer referencia al propio elemento, compuestos que contienen el elemento, o ambos. Por ejemplo, una fracción en masa de calcio
- 15 puede hacer referencia a una fracción en masa de solo calcio en un material, una fracción en masa de óxido de calcio, o una fracción en masa de otro compuesto que contiene calcio, o una fracción en masa combinada de cualquier combinación de estos, etc.

- [0043]** En muchos casos, la VM del carbón incluye vitrinita, donde la vitrinita se puede clasificar según su reflectancia u otras propiedades físicas. Algunos sistemas pueden clasificar la vitrinita
- 20 según los tipos de vitrinita V8 a V18, donde los diferentes carbones pueden incluir diferentes distribuciones de tipos de vitrinita. Tal como se usa en esta descripción, un carbón de volatilidad alta se puede caracterizar por tener una fracción en masa de VM que es mayor que un umbral de fracción en masa de VM, donde diferentes sistemas pueden definir un carbón de volatilidad alta mediante el uso de un umbral diferente. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente
- 25 tecnología pueden caracterizar un carbón de volatilidad alta como un carbón que tiene una fracción en masa de VM mayor o igual a 28,0 %. Algunas modalidades pueden usar otros umbrales de fracción en masa de VM para caracterizar una VM de volatilidad alta, tales como 25,0 %, 27,0 %, 30,0 %, 31,0 %, o algún otro umbral mayor o igual a 25,0 %.

- [0044]** Tal como se usa en esta descripción, un carbón de volatilidad baja se puede caracterizar
- 30 por tener una fracción en masa de VM que es menor que un umbral de fracción en masa de VM, donde diferentes sistemas pueden definir un carbón de volatilidad baja mediante el uso de

umbrales diferentes. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden caracterizar un carbón de volatilidad baja como un carbón que tiene una fracción en masa de VM menor o igual a 20,0 %, si bien se puede usar un valor diferente a 20 %, tal como 14,0 %, 15,0 %, 17,0 %, 21,0 %, etc. Algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar otros umbrales de fracción en masa de VM para caracterizar una VM de volatilidad alta como una VM mayor que el umbral de fracción en masa. El umbral de fracción en masa puede ser igual a un valor tal como 14,0 %, 15,0 %, 21,0 %, 22,0 %, 23,0 % o algún otro umbral menor o igual a 25,0 %.

[0045] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden caracterizar o caracterizar parcialmente un carbón de volatilidad baja con respecto a un carbón de volatilidad alta mediante el uso de una diferencia predeterminada, donde la diferencia predeterminada puede incluir un valor superior a 1,0 %, tal como 2,0 %, 3,0 %, 4,0 %, 8,0 % o algún otro valor. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden establecer la diferencia entre un primer umbral usado como umbral para un carbón de volatilidad alta y un segundo umbral usado como umbral para un carbón de volatilidad baja igual a 4,0 %, donde una selección de 30 % como primer umbral puede hacer que un sistema seleccione automáticamente 26 % como segundo umbral. De manera alternativa, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar o permitir que un valor alternativo sea el segundo umbral, tal como 21 %. Al establecer los umbrales utilizados para definir un carbón de volatilidad alta y un carbón de volatilidad baja o definir una diferencia entre los dos umbrales, algunas modalidades de la presente tecnología también pueden definir automáticamente un carbón de volatilidad media como aquellos carbones que no son carbones de volatilidad alta o carbones de volatilidad baja.

[0046] Esta descripción se refiere a la AFT de mezclas de carbón o productos de coque. La AFT de un producto de coque se puede determinar de varias maneras, tal como mediante observación experimental (AFT observada) o mediante un modelo empírico (modelo de AFT). A menos que se indique de otro modo, el término «fusión de cenizas» puede hacer referencia a un modelo empírico de fusión de cenizas o a una fusión de cenizas observada. Tal como se analizará en otra parte, una AFT puede ser menor o igual a 2600 °F, menor o igual a 2450 °F, menor o igual a 2400 °F, menor o igual a 2350 °F, menor que o igual a 2300 °F, menor o igual a 2250 °F, menor o igual a 2200 °F, menor o igual a 2150 °F, menor o igual a 2100 °F, menor o igual a 2050 °F, menor o igual a 2000 °F, menor o igual a 1950 °F, menor o igual a 1900 °F,

menor o igual a 1850 °F, o menor o igual a 1800 °F.

[0047] En algunas modalidades, se puede determinar un modelo empírico de AFT a partir de los compuestos restantes de una ceniza generada a partir de la combustión de un producto de coque. Cuando el valor de la AFT se limita a un intervalo, estos modelos empíricos pueden servir para formar un límite de composición en un espacio de parámetros de composición multidimensional. Los parámetros de composición del espacio de parámetros pueden representar cantidades de un elemento o compuesto en un material o grupo de materiales, en donde las cantidades pueden incluir fracciones en masa de compuesto de sus correspondientes compuestos, fracciones volumétricas, etc. Mediante el uso de diferentes modelos empíricos o intervalos diferentes para una AFT, algunas modalidades restringen la ceniza de un producto de coque a diferentes regiones en un espacio de parámetros de composición, lo que, luego, puede restringir la composición del producto de coque en sí. Por ejemplo, los modelos empíricos para la fusión de cenizas pueden definirse en las ecuaciones 1-3 siguientes, en donde «AFT» puede ser un modelo de temperatura de fusión de cenizas en grados Celsius (°C), «SiO₂_fracción_masa» puede ser una fracción en masa SiO₂ de las cenizas del producto de coque («cenizas del producto de coque»), «Al₂O₃_fracción_masa» es una fracción en masa de Al₂O₃ de las cenizas del producto de coque, «Fe₂O₃_fracción_masa» es una fracción en masa de Fe₂O₃ de las cenizas del producto de coque; «CaO_fracción_masa» es una fracción en masa de CaO de las cenizas del producto de coque; «MgO_fracción_masa» es una fracción en masa de MgO de las cenizas del producto de coque; y «K₂O_fracción_masa» es una fracción en masa de K₂O de las cenizas del producto de coque:

$$\begin{aligned} \text{AFT} = & 19 \times (\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}) + 15 \times (\text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}} + \text{TiO}_2_{\text{fracción_masa}}) \\ & + 10 \times (\text{CaO_fracción_masa} + \text{MgO_fracción_masa}) \\ & + 6 \times (\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}} + \text{Na}_2\text{O_fracción_masa}) \end{aligned} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\begin{aligned} \text{AFT} = & 19 \times (\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}) + 15 \times (\text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}} + \text{TiO}_2_{\text{fracción_masa}}) \\ & + 10 \times (\text{CaO_fracción_masa} + \text{MgO_fracción_masa}) \\ & + 6 \times (\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}} + \text{Na}_2\text{O_fracción_masa} + \text{K}_2\text{O_fracción_masa}) \end{aligned} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\begin{aligned} \text{AFT} = & 401,5 + (26,3 \times \text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}} + 40,7 \times \text{Ecuación 3} \\ & \text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}) - 11,0 \times \text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}} - 7,9 \times \\ & \text{CaO}_{\text{fracción_masa}} - 112 \times \text{MgO}_{\text{fracción_masa}} \end{aligned}$$

[0048] Algunas modalidades pueden aplicar diferentes modelos en función de diferentes composiciones. Por ejemplo, en función de una determinación de que una fracción en masa de Al_2O_3 y SiO_2 en la composición de cenizas de una mezcla de carbón está entre 65 % y 80 %, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar la Ecuación 3 para calcular un modelo de AFT y, de lo contrario, usar la Ecuación 2 para calcular el modelo de AFT. Algunas modalidades pueden usar diferentes modelos para diferentes operaciones de optimización. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar la Ecuación 3 para optimizar una mezcla de carbón seleccionada para la producción de coque para que tenga un contenido menor de Al_2O_3 y SiO_2 , mientras tiene un mayor contenido de Fe_2O_3 y CaO . Además, si bien algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar un modelo de AFT conocido, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar ecuaciones de un modelo de AFT novedoso. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar la Ecuación 1 para determinar una AFT, donde la Ecuación 1 puede encontrarse en el Capítulo 8 del Cupola Handbook, 6.^a ed., © 1999, American Foundrymen's Society, Inc., que se incorpora a la presente mediante referencia, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar otros modelos de AFT, tales como los descritos en la Ecuación 2 o la Ecuación 3. Se pueden imponer otras limitaciones sobre las fracciones en masa de los componentes de una mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir una mezcla de carbón que tiene un contenido de alúmina Al_2O_3 de cenizas de una mezcla de carbón menor que 10,0 %, menor que 7,0 %, menor que 6,0 %, menor que 5,0 %, etc.

[0049] Al restringir una AFT a un límite específico, algunas modalidades de la presente tecnología pueden restringir la composición de una ceniza. En algunas modalidades, el límite específico puede abarcar una región de temperatura tal como 982 °C (1800 °F) a 1204 °C (2200 °F), 1204 °C (2200 °F) a 1426 °C (2600 °F), o 982 °C a 1426 °C. Si la ceniza es un producto de ceniza generado al combustionar un producto de coque, las restricciones en la composición de la ceniza dan como resultado una restricción en el producto de coque del propio producto de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar un producto de coque que tiene determinadas cantidades de Al, Si, Ti, Ca, Mg, Fe, Na

o K de modo que la combustión del producto de coque dé como resultado una ceniza que tiene la composición que satisface la Ecuación 2. Se pueden utilizar varios límites de composición en una ceniza de producto de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar un producto de coque de manera que un modelo de AFT del producto de coque determinado por la Ecuación 3 esté dentro de un límite de AFT. Por ejemplo, el límite de AFT puede ser un intervalo de temperatura entre 1260 °C (2300 °F) y 1427 °C (2600 °F), entre 1260 °C y 1371 °C (2500 °F), entre 1260 °C y 1316 °C (2400 °F), o entre 1260 °C y 1427 °C. En algunas modalidades, un límite inferior de la temperatura puede ser un valor diferente, tal como 982 °C (1800 °F) o un valor inferior a 1288 °C, tal como 816 °C (1500 °F), 649 °C (1200 °F), o algún otro valor inferior a 1288 °C.

[0050] Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden limitar una AFT para que sea aproximadamente un valor objetivo, en donde un parámetro es aproximadamente un valor objetivo si el parámetro está dentro del 10 % del valor absoluto del valor objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden limitar una AFT a aproximadamente 982 °C (1800 °F), 1204 °C (2200 °F), 1260 °C (2300 °F), 1288 °C (2350 °F), 1316 °C (2400 °F), 1343 °C (2450 °F), 1371 °C (2500 °F), 1399 °C (2550 °F), o 1427 °C (2600 °F).

[0051] En algunas modalidades, una formulación de mezcla de carbón puede incluir propiedades específicas, tales como un valor de fusión de cenizas menor o igual a 2400 °F, que equivale a ser menor que 1316 °C. Algunas modalidades pueden recomendar o producir una mezcla de carbón que contiene carbones con fracción en masa de VM baja y carbones con fracción en masa de VM alta sin incluir necesariamente carbones con fracción en masa de VM media. Por ejemplo, una mezcla de carbón puede tener un perfil bimodal de carbones con VM alta y VM baja dentro de la mezcla de carbón. En tal perfil bimodal, los carbones de una mezcla de carbón pueden incluir solo un primer y un segundo conjunto de carbones, donde un primer conjunto de carbones de la mezcla de carbón puede incluir solo carbones con alto contenido de VM que tengan una fracción en masa de VM mayor que 30,0 %, y un segundo conjunto de carbones de la mezcla de carbón puede incluir únicamente carbones con VM alta que tengan una fracción en masa de VM menor que 22,0 %.

[0052] Algunas modalidades pueden asignar el punto de mezcla a un punto de parámetro de carbón correspondiente en un espacio de parámetros de carbón («punto de parámetro de

carbón»), donde cada dimensión en el espacio de parámetros de carbón puede representar un parámetro de carbón. En algunas modalidades, se puede determinar una dimensión de un punto de parámetro de carbón como una combinación lineal de los carbones 110 ponderados por los valores del punto de mezcla correspondiente. Por ejemplo, una mezcla de carbón puede incluir una mezcla de dos tipos de carbón que incluye 50 % de carbón tipo A 112 y 50 % de carbón tipo B 113. Si el carbón tipo A 112 tiene un porcentaje en masa de VM igual a 15 % y el carbón tipo B tiene un porcentaje en masa de VM igual a 25 %, el porcentaje en masa de VM de la mezcla de carbón puede ser igual al promedio medio de los dos porcentajes de masa de VM, 20 %.

10 **[0053]** Algunas modalidades pueden obtener un conjunto de parámetros de carbón objetivo, donde un parámetro de carbón objetivo puede proporcionarse como un valor predeterminado, proporcionado mediante entrada de datos manual, obtenido de un almacenamiento de datos de terceros, proporcionado a través de un mensaje electrónico, etc. Por ejemplo, el parámetro objetivo de carbón puede incluir un índice de reactividad de coque (CRI) o un valor de resistencia del coque después de la reacción (CSR). En algunas modalidades, el CRI o CSR puede ser ingresado manualmente por un usuario, obtenerse de una base de datos, recibirse a través de una API, etc. Algunas modalidades pueden usar un modelo basado en un conjunto de parámetros de carbón para determinar un conjunto correspondiente de los parámetros de coque. El modelo puede incluir un modelo estadístico, un modelo analítico semiempírico, un modelo de red neural, un modelo de simulación física, etc. Tal como se describe en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar un modelo que tenga en cuenta las relaciones no lineales entre los parámetros de carbón y los parámetros de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar una red neural, tal como una red neural de alimentación directa, para predecir un conjunto de parámetros de coque.

25 **[0054]** En algunas modalidades, la red neural puede entrenarse con datos pasados. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden entrenar una red neural basada en mezclas pasadas y resultados de las mezclas, donde los resultados pueden incluir propiedades de coque tales como una CSR, un porcentaje de pérdida de peso, un CRI u otro parámetro de coque que no sea lineal con respecto a un parámetro de carbón relacionado. De forma alternativa, o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar un modelo

basado en física analítica o un modelo semianalítico para predecir un parámetro de coque. El uso de una red neural u otros métodos no lineales para predecir los parámetros de coque en función de los parámetros de carbón puede ser ventajoso debido a los efectos no lineales asociados entre los parámetros de carbón y los parámetros de coque. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden proporcionar entradas adicionales al modelo de red neural, tal como un parámetro de finos, una cantidad de finos utilizada, etc.

[0055] Algunas modalidades pueden adaptarse a cambios en la disponibilidad de diferentes tipos de carbón. Por ejemplo, puede cerrarse una mina fuente de carbón tipo A 112, puede retrasarse significativamente una línea de transporte que transporta carbón tipo A 112, un entorno regulatorio puede hacer que el uso de ciertos carbones sea inviable, etc. En respuesta a una determinación de que un tipo de carbón usado en una mezcla de carbón no está disponible o se espera que no esté disponible, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar una formulación de mezcla de carbón alternativa que se asigna a una posición en un espacio de parámetros de carbón que está dentro de un umbral de distancia de un primer punto en el espacio de parámetros de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar originalmente una primera mezcla de carbón que es 20 % de carbón tipo A en peso, en donde la primera mezcla de carbón se asigna a un primer punto en un espacio de parámetros de carbón que incluye una proporción de masa de VM de 25 %, una proporción de masa de azufre de 0,4 % y una proporción de masa de cenizas de 6 %, etc. Después de recibir un mensaje que indica que el carbón tipo A está restringido a 5 % (por ejemplo, como resultado de una caída en el inventario), algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar un conjunto de operaciones para determinar una o más combinaciones adicionales que satisfagan las restricciones de uso del tipo de carbón y el espacio de parámetros de carbón. En los casos en los que el primer punto de parámetro de carbón no se puede alcanzar, mientras está limitado por la disponibilidad del tipo de carbón, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una formulación de mezcla de carbón alternativa que se asigna a un punto de parámetro de carbón que está dentro de un umbral de distancia del espacio de parámetros de carbón del primer punto de parámetro de carbón.

[0056] Algunas modalidades pueden usar el punto de mezcla para determinar la mezcla de carbones para agregar y procesar para la mezcla de carbón 140. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar operaciones descritas en esta descripción

para determinar un punto de mezcla que indica una mezcla de carbón que incluye 20 % de carbón tipo A 112, 30 % de carbón tipo B 113, 40 % de carbón tipo C 114 y 10 % de carbón tipo D 115 y combinar el carbón en estas proporciones respectivas en la mezcla de carbón 140. Algunas modalidades pueden proporcionar, luego, el carbón mezclado en un horno de coque 150, donde algunas modalidades de la presente tecnología pueden agregar finos de coque 111 al horno de coque 150 para crear un producto de coque que tiene propiedades de coque similares o iguales a un conjunto de propiedades de coque objetivo.

[0057] La FIGURA 2 representa una vista isométrica en corte parcial de una parte de una planta de coque de recuperación de calor horizontal, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Un horno 200 de la planta de coque puede incluir varios conductos, cámaras, válvulas, sensores u otros componentes. Por ejemplo, el horno 200 puede incluir una cavidad abierta definida por un piso del horno 202, una puerta del horno del lado del empujador 204, una puerta del horno del lado del coque 206 opuesta a la puerta del lado del empujador 204, paredes laterales opuestas 208 que se extienden hacia arriba desde el piso del horno 202 y entre la puerta del lado del empujador 204 y la puerta del lado del coque 206, y una corona del horno 210, que forma la superficie superior de la cavidad abierta de una cámara del horno 212. Además, el horno 200 puede incluir un conjunto de entradas de aire de la corona 214 que permiten que el aire de combustión primaria entre en la cámara del horno 212. En algunas modalidades, el conjunto de entradas de aire de la corona 214 puede penetrar la corona del horno 210 y permitir una comunicación de fluidos abierta entre la cámara del horno 212 y el entorno fuera del horno 200. En algunas modalidades, el flujo de aire a través de entradas de aire o conductos de aire (por ejemplo, un conducto de absorción) puede controlarse mediante compuertas, que pueden configurarse en cualquiera de una serie de estados entre un estado completamente abierto y un estado completamente cerrado para variar una cantidad de flujo de aire. Por ejemplo, las entradas de aire de la corona 214 pueden incluir una compuerta que se puede configurar en diferentes estados para permitir el flujo de aire hacia la corona del horno 210, tal como una compuerta de aire de entrada de la corona 216, que funciona de manera similar. Si bien las modalidades de la presente tecnología pueden usar entradas de aire de la corona 214, exclusivamente, para proporcionar aire de combustión primaria a la cámara del horno 212, se pueden usar otros tipos de entradas de aire, tales como las entradas de aire de puerta, en modalidades particulares, sin apartarse de los aspectos de la presente tecnología.

[0058] Tal como se describió anteriormente, el control del tiro en el horno 200 u otras operaciones en el horno 200 pueden implementarse mediante sistemas de control. Dichas operaciones pueden incluir operaciones de un ciclo de coquización, que pueden incluir cargar una mezcla de carbón en el horno 200, controlar la compuerta de entrada 236 para que se configure en cualquiera de varios estados entre completamente abierto y completamente cerrado, etc. Una vez completado el ciclo de coquización, algunas modalidades de la presente tecnología pueden coquear una mezcla de carbón para producir un producto de coque útil para producir acero con un horno de cubilote. En algunas modalidades, los productos de coque de fundición pueden usarse en un horno de cubilote mediante el uso de operaciones descritas en la solicitud estadounidense 18/052.739, con el título «FOUNDRY COKE PRODUCTS AND ASSOCIATED SYSTEMS AND PROCESSING METHODS VIA CUPOLAS», cuya descripción se incluye en la presente como Apéndice A. En algunas modalidades, el producto de coque puede retirarse del horno 200 a través de la puerta del horno del lado del coque 206 con un pistón empujador u otro sistema de extracción mecánica. En algunas modalidades, el coque puede apagarse (por ejemplo, apagarse en húmedo o en seco) y clasificarse por tamaño antes de su entrega a un usuario.

[0059] La FIGURA 3 es una tabla que indica las fracciones de materia volátil (VM) para diferentes tipos de carbones utilizables en una mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. El contenido de vitrinita y sus categorías correspondientes para varios tipos de carbón se muestran en la tabla 300. Los carbones enumerados en la fila 301 incluyen los tipos de carbón «T1», «T2», «T3», «T4», «T5», «T6», «T7» y «T8». Tal como se muestra en la Tabla 300, algunos carbones pueden considerarse carbones de volatilidad baja, donde un carbón de volatilidad baja incluye principalmente vitrinitas que tienen volatilidad baja, tales como las vitrinitas V14, V15, V16, V17 o V18. Tal como se muestra en la Tabla 300, algunos carbones pueden considerarse carbones de volatilidad alta, donde un carbón de volatilidad alta incluye principalmente vitrinitas que tienen volatilidad alta, tales como las vitrinitas V8, V9 o V10. Algunos carbones pueden considerarse carbones de volatilidad media, donde un carbón de volatilidad media incluye principalmente vitrinitas que tienen volatilidades que no se considerarían de alta o volatilidad baja, tales como las vitrinitas V11, V12 o V13.

[0060] Tal como se describe en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la

presente tecnología pueden seleccionar una mezcla de carbón que incluye principalmente carbones de volatilidad alta o volatilidad baja. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar, recomendar o seleccionar carbones indicados en la tabla 300 para su inclusión en una mezcla de carbón, donde los carbones seleccionados incluyen los carbones de volatilidad baja T1 y T2 y los carbones de volatilidad alta T8 y T9. Tal como se muestra en las columnas 311-312, los carbones de volatilidad baja pueden caracterizarse por una cantidad proporcionalmente mayor de vitrinitas de volatilidad baja, tales como las vitrinitas V15 y V16, con respecto a las vitrinitas de mayor volatilidad, tales como las vitrinitas V13. De manera similar, tal como se muestra en la columna 313, los carbones de volatilidad alta pueden caracterizarse por tener una cantidad relativamente mayor de vitrinitas V8, V9 y V10 con respecto a otras vitrinitas del carbón.

[0061] Tal como se describe en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar mezclas de carbón únicas al omitir carbones de volatilidad media de una mezcla de carbón para aumentar el rendimiento de los productos de coque producidos con la mezcla de carbón. Esta mezcla de carbón puede ser única por carecer de carbones de volatilidad media, a pesar de los métodos convencionales que producen y utilizan mezclas de carbón que incluyen carbones de volatilidad media, debido a suposiciones convencionales sobre la necesidad de carbones de volatilidad media para equilibrar las vitrinitas durante una reacción de pirólisis para la producción de coque. Por ejemplo, una mezcla de carbón puede incluir carbones de volatilidad alta y carbones de volatilidad baja. Los carbones de volatilidad alta pueden tener una fracción de vitrinita de volatilidad alta, de modo que la mayoría de la fracción de vitrinita de una fracción de vitrinita de volatilidad alta está compuesta por vitrinitas de volatilidad alta, de modo que la suma de la fracción de vitrinita V8, la fracción de vitrinita V9, la fracción de vitrinita V10 y la fracción de vitrinita V11 es mayor que 50 %. Los carbones de volatilidad baja pueden tener una fracción de vitrinita de volatilidad baja, de modo que la mayoría de la fracción de vitrinita de una fracción de vitrinita de volatilidad baja está compuesta por vitrinitas de volatilidad baja, de modo que la suma de la fracción de vitrinita V14, la fracción de vitrinita V15, la fracción de vitrinita V16, la fracción de vitrinita V17 y la fracción de vitrinita V18 es mayor que 50 %. Tal como se usa en esta descripción, una fracción de vitrinita V16 (que puede incluir tener una fracción volumétrica mayor que 50 %, una fracción en masa mayor que 50 %, etc.), donde una fracción de vitrinita puede ser relativa a la cantidad total de

contenido de maceral del carbón o la masa total del carbón.

[0062] En algunas modalidades, los carbones de la mezcla de carbón pueden tener diferentes valores de fusión de cenizas, tal como se muestra en la tabla 400. Tal como se indicará en otra parte de esta descripción, la fusión de cenizas de salida puede ser menor en una mezcla de carbón en comparación con uno o más carbones constituyentes de la mezcla de carbón. Por ejemplo, tal como se describe en otra parte en la presente, una mezcla de carbón que comprende carbón tipo T1, carbón tipo T2 y carbón tipo T9 puede tener un valor de fusión de cenizas diferente a cualquiera de estos valores. Tal como se analiza en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la presente tecnología pueden considerar varios parámetros de carbón al determinar una mezcla de carbones para una mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden obtener parámetros de carbón para un conjunto de tipos de carbón T1-T9, tal como se indica en la tabla 400. Algunas modalidades pueden determinar, luego, una cantidad de carbón, finos u otros aditivos para una mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden obtener un conjunto de valores de azufre que se muestran en la fila 413 de la tabla 400 y un conjunto de valores de fusión de cenizas que se muestran en la fila 420. Algunas modalidades pueden obtener, luego, un valor de fusión de cenizas objetivo como un parámetro de mezcla de carbón objetivo y determinar una composición de la mezcla de carbón a partir de los carbones T1-T9.

[0063] Tal como se describe en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la presente tecnología pueden restringir o limitar de otro modo los carbones que se utilizan a carbones de baja o volatilidad alta sin utilizar carbones de volatilidad media. Por ejemplo, si los carbones del tipo de carbón T1 son carbones de volatilidad baja, los carbones del tipo de carbón T5 son carbones de volatilidad media y los carbones del tipo de carbón T9 son carbones de volatilidad alta, algunas modalidades de la presente tecnología pueden verse restringidas a utilizar carbones del tipo de carbón T5 al determinar qué carbones utilizar para una mezcla de carbón. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden restringir el uso de carbones de tipos de carbón específicos o requerir el uso de carbones de tipos de carbón específicos. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recibir instrucciones que requieren el uso de carbones que tengan una fracción en masa de VM entre 0 % y 20 %, lo que puede restringir a una mezcla de carbón para la inclusión de carbones de al menos uno de los tipos de carbón T1 o T2. Además, algunas modalidades de la presente

tecnología pueden obtener múltiples parámetros de mezcla de carbón objetivo o un intervalo o múltiples intervalos de parámetros de mezcla de carbón objetivo. Algunas modalidades pueden proporcionar un número correspondiente de combinaciones posibles de carbones de diferentes tipos de carbón que satisfacen estos conjuntos de parámetros de mezcla de carbón objetivo o intervalos de parámetros de mezcla de carbón.

[0064] La FIGURA 4 es una tabla que indica las propiedades asociadas con diferentes tipos de carbones utilizados en una mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Tal como se muestra en la tabla 400, los carbones de diferentes tipos pueden tener diferentes propiedades, donde algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar propiedades como parámetros de carbón para su uso en la satisfacción de un parámetro objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recibir instrucciones de programa para satisfacer un parámetro objetivo que representa una VM requerida para una mezcla de carbón. En respuesta, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar un intervalo de valores de VM representados por una fila 411 de la tabla 400 que satisfacen la VM requerida para la mezcla de carbón o un intervalo de valores de VM requeridos. Algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar operaciones similares para cada una de las propiedades del carbón enumeradas en las filas 411 a 428.

[0065] La FIGURA 5 es una tabla que indica la composición asociada con diferentes tipos de carbones utilizados en una mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Tal como se muestra en la tabla 500, los carbones de diferentes tipos pueden tener diferentes composiciones. Algunas modalidades pueden utilizar composiciones de materiales como parámetros de carbón para su uso en la satisfacción de un parámetro de carbón objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recibir instrucciones de programa para satisfacer un parámetro de carbón objetivo que representa un valor de óxido de calcio requerido o un intervalo de valores de óxido de calcio. En respuesta, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar un intervalo de composiciones de carbón de los tipos de carbón T1-T9 que satisfacen el valor de óxido de calcio requerido o el intervalo de valores de óxido de calcio.

[0066] La FIGURA 6 es una tabla que indica mediciones adicionales asociadas con diferentes tipos de carbones utilizados en una mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Tal como se muestra en la tabla 600, una mezcla de carbón puede

incluir varios compuestos. Debido a la heterogeneidad y las fuentes de variación dentro de las fuentes de carbón, las mezclas de carbón del mismo tipo en las mismas proporciones pueden producir diferentes valores de muestra para cada muestra de mezcla de carbón que se analiza.

[0067] La FIGURA 7 es un diagrama de flujo de un proceso para determinar una formulación de mezcla de carbón, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Algunas modalidades pueden obtener un conjunto de parámetros de carbón para un conjunto de carbones disponible, tal como se indica en el bloque 704. Tal como se describe en otra parte, los parámetros de carbón pueden incluir varias propiedades o composiciones asociadas con un tipo específico de carbón. Por ejemplo, una mezcla de carbón puede incluir una medida relativa o absoluta de VM, ceniza, azufre, material inerte total, materia mineral, modelo de AFT, un valor de AFT ST, un valor de AFT HT, una temperatura de solidificación, una dilatación, una cantidad de un tipo específico de material volátil (por ejemplo, una cantidad de vitrinita V8, vitrinita V9, etc.) u otro parámetro de carbón. Algunas modalidades pueden obtener parámetros de carbón a partir de una entrada de un usuario, de un registro histórico de valores almacenados en una base de datos, de una interfaz de programa de aplicación (API), etc.

[0068] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden obtener un conjunto de parámetros de mezcla de carbón objetivo, tal como se indica en el bloque 708. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden obtener un parámetro de mezcla de carbón objetivo en función de una entrada proporcionada por un usuario a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI). De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden obtener un parámetro de mezcla de carbón objetivo de un archivo de configuración almacenado, un registro de valores históricos o una API. Algunas modalidades pueden estimar, predecir o determinar de otro modo un parámetro de mezcla de carbón objetivo a partir de un parámetro de coque objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden obtener una reactividad objetivo y una fracción en masa de azufre como un parámetro de coque objetivo. Algunas modalidades pueden proporcionar, luego, un modelo de predicción de aprendizaje automático con el parámetro de coque objetivo para determinar un conjunto de parámetros de mezcla de carbón objetivo.

[0069] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una formulación de mezcla de carbón en función del conjunto de parámetros de carbón y el conjunto de parámetros de mezcla de carbón objetivo, tal como se indica en el bloque 712. Algunas modalidades pueden

determinar un porcentaje u otro tipo de proporción que indica una cantidad de un tipo de carbón a utilizar en una mezcla de carbón al manipular el tipo y la cantidad de carbón a utilizar para que coincida con un conjunto de parámetros de carbón objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recibir instrucciones de programa o parámetros de los archivos de configuración que indican un parámetro de carbón objetivo para un contenido de VM objetivo. Algunas modalidades pueden realizar, luego, un conjunto de operaciones para calcular un punto de mezcla que represente la mezcla de diferentes carbones correspondientes a diferentes tipos de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar una operación de optimización para determinar una región en un espacio de parámetros de carbón que puede satisfacerse al seleccionar diferentes carbones de un conjunto de carbones disponibles.

[0070] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden verse restringidas a la hora de determinar mezclas de carbón que incluyan carbones de volatilidad media, tales como un carbón que tenga una fracción en masa de VM tal que las vitrinitas V11, V12 o V13 sean los componentes principales de la fracción en masa de VM o el contenido maceral de la mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recibir primero un parámetro de carbón objetivo que indica que una fracción en masa de VM objetivo es 0,25 o algún otro valor que sea mayor o igual a 10 %, 20 %, 25 %, etc. Algunas modalidades pueden explorar, luego, un espacio de parámetros de carbón formado por posibles mezclas de diferentes tipos de carbón para satisfacer esta fracción en masa de VM objetivo, donde la exploración puede incluir tipos de carbón de volatilidad baja o tipos de carbón de volatilidad alta, mientras que excluye los tipos de carbón de volatilidad media. Algunas modalidades pueden determinar una formulación de mezcla de carbón, de modo que una fracción en masa de carbones de volatilidad baja de la mezcla de carbón sea mayor o igual a un primer umbral de fracción en masa y una fracción en masa de carbones de volatilidad alta de la mezcla de carbón sea mayor o igual a un segundo umbral de fracción en masa, donde el primer umbral de fracción en masa puede ser mayor o igual a 50 % y el segundo umbral de fracción en masa puede ser menor o igual a 50 %. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una formulación de mezcla de carbón, de modo que una fracción en masa de carbones de volatilidad baja de la mezcla de carbón sea mayor o igual a 60 % y una fracción en masa de carbones de volatilidad alta de la mezcla de carbón sea mayor o igual a 15 %. De

manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una formulación de mezcla de carbón, de modo que una fracción en masa de carbones de volatilidad alta de la mezcla de carbón sea mayor o igual a un primer umbral de fracción en masa y una fracción en masa de carbones de volatilidad baja de la mezcla de carbón sea mayor o igual a un segundo umbral de fracción en masa, donde el primer umbral de fracción en masa puede ser mayor o igual a 50 % y el segundo umbral de fracción en masa puede ser menor o igual a 50 %. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una formulación de mezcla de carbón, de modo que una fracción en masa de carbones de volatilidad alta de la mezcla de carbón sea mayor o igual a 60 % y una fracción en masa de carbones de volatilidad baja de la mezcla de carbón sea mayor o igual a 15 %.

[0071] Tal como se describe en otra parte de esta descripción, un tipo de carbón de volatilidad baja puede tener una volatilidad correspondiente que sea menor o igual a un primer umbral de volatilidad, y un tipo de carbón de volatilidad alta puede tener una volatilidad correspondiente que sea mayor o igual a un segundo umbral de volatilidad, donde el primer umbral de volatilidad puede ser menor que el segundo umbral de volatilidad. Con referencia a la FIGURA 3, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar una formulación de mezcla de carbón que indica una mezcla de carbón que incluye finos, carbón tipo T1, carbón tipo T2 y carbón tipo T9. Sin embargo, a pesar de estas mezclas no convencionales para una mezcla de carbón, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque resultante que tiene un valor de fusión de cenizas dentro de un intervalo de parámetros útil, tal como un valor de fusión de cenizas igual a 2526 °F, o un producto de coque que tiene un CRI mejorado, tal como un CRI mayor o igual a 30 %, mayor o igual a 35 %, o mayor o igual a 40 %.

[0072] Tal como se describe en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recomendar una formulación de mezcla de carbón que incluye finos de coque. Algunas modalidades pueden seleccionar finos de coque o una cantidad de finos de coque para su inclusión en función de parámetros de finos asociados con los finos de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden obtener una fracción en masa de VM de los finos, una fracción en masa de cenizas de los finos o una fracción en masa de azufre de los finos. Algunas modalidades pueden determinar, luego, una cantidad de finos de coque a incluir en una mezcla de carbón en función del conjunto de parámetros de finos obtenido. En algunas modalidades, el intervalo de una cantidad de finos de coque a incluir en

una mezcla de carbón puede ser entre 1 % y 20 % de finos de coque, aunque otros intervalos son posibles. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recomendar una formulación de mezcla de carbón que incluye 10 % de finos de coque en función de una determinación de que esta cantidad de finos de coque, en combinación con otros carbones, satisface un conjunto de parámetros de mezcla de carbón objetivo.

[0073] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una mezcla de carbón con una fracción en masa de cenizas relativamente alta. Si bien algunas modalidades de la presente tecnología pueden utilizar una fracción en masa de cenizas baja en una mezcla de carbón (por ejemplo, menos de 10,0 %), algunas modalidades de la presente tecnología pueden recomendar una formulación de mezcla de carbón con una fracción en masa de cenizas que sea mayor o igual a 10,0 %, donde una fracción en masa de cenizas que sea mayor al 10,0 % puede considerarse un alto contenido de ceniza para una mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una formulación de mezcla de carbón que tiene una fracción en masa de cenizas mayor o igual a 10,0 %, 11,0 %, 15,0 % o 20 %. Al aumentar el uso de ceniza en una mezcla de carbón, algunas modalidades de la presente tecnología pueden aumentar la resistencia efectiva de un producto de coque producido a partir de una mezcla de carbón. Además, el reciclaje de cenizas como subproducto de una operación de coquización aumenta la eficiencia de los recursos de las operaciones para producir coque a partir de una mezcla de carbón al reducir la dependencia de aditivos adicionales para una mezcla de carbón.

[0074] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden recomendar una formulación de mezcla de carbón que incluya finos de coque restringidos a un tamaño o a un intervalo de tamaños específico. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recomendar una primera formulación de mezcla de carbón que incluye finos de coque restringidos a ser finos de coque de malla 10 o finos de coque más grandes o una segunda formulación de mezcla de carbón que incluye finos de coque restringidos a ser finos de coque de malla 20 o finos de coque más grandes. En algunas modalidades, se pueden recomendar diferentes formulaciones de mezclas de carbón, donde las restricciones de tamaño pueden estar correlacionadas negativamente con una cantidad de finos de coque que se recomienda para su inclusión en una formulación de mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden restringir una mezcla de carbón al uso de finos

de coque caracterizados como finos de coque de malla 10 o finos de coque más grandes, de modo que menos de 5,0 % de los finos de coque que se utilizan se caracterizan como los finos de coque de malla 10 o más grandes. De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden utilizar finos de coque caracterizados por tener finos de coque de malla 20 o finos de coque más grandes, de modo que menos de 10,0 % de los finos de coque que se utilizan se caracterizan como finos de coque de malla 20 o más grandes. De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden utilizar finos de coque caracterizados por tener finos de coque de malla 90 o finos de coque más pequeños, de modo que menos de 10,0 %, menos de 15,0 % o menos de 25,0 % de los finos de coque que se utilizan se caracterizan como finos de coque de malla 90 o más pequeños.

[0075] Tal como se describe en otra parte, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una formulación de mezcla de carbón que incluye múltiples tipos de carbón, tal como un primer, un segundo y un tercer tipo de carbón. Algunas implementaciones permiten seleccionar el uso de un tipo de carbón mediante el uso de operaciones de optimización que satisfacen uno o más parámetros de la mezcla de carbón objetivo. Estas operaciones de optimización pueden compensar las limitaciones en la disponibilidad, cantidad o variación del carbón entre diferentes lotes. Por ejemplo, algunas implementaciones de la presente tecnología pueden recomendar una formulación de carbón con una primera cantidad de un primer carbón y una segunda cantidad de un segundo carbón. El primer carbón puede ser de volatilidad baja, de modo que la fracción en masa de vitrinita V16 sea mayor que 25 % de la fracción en masa total de VM del primer carbón, y el segundo carbón puede ser de volatilidad alta, de modo que la suma de las vitrinitas de mayor volatilidad, tal como una suma de las fracciones de vitrinita V8, V9 y V10, sea mayor que 40 % de la masa total de VM del segundo carbón. Si bien algunas modalidades de la presente tecnología pueden utilizar 40 % como umbral, son posibles otros valores, tales como 50 %, 60 %, 70 % o algún otro porcentaje mayor a 40 %.

[0076] Si bien el contenido de VM es una preocupación importante para la formulación de mezclas de carbón, también pueden considerarse otras propiedades como los valores de fusión de cenizas, la fracción en masa de azufre, la fracción en masa de calcio o la fracción en masa de cenizas para la mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden proporcionar una formulación de mezcla de carbón que indica una fracción en masa de óxido de azufre de la mezcla de carbón mayor que 5,0 %, o una fracción en masa

de óxido de calcio de la mezcla de carbón mayor que 5,0 %. Tal como se analizará en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la presente tecnología pueden beneficiarse del uso de mezclas de carbón con mayor reactividad o mayores dimensiones para compensar los valores elevados de calcio o azufre. Al permitir mayores valores de componentes, tales como azufre o calcio durante la formulación de mezclas de carbón, algunas modalidades de la presente tecnología pueden proporcionar una robustez adicional que no sería viable para operaciones de mezcla de carbón anteriores porque las mezclas de carbón producidas a partir de dichas operaciones anteriores tendrían un contenido de calcio o azufre que puede ser demasiado alto para las operaciones de fundición. Además, aunque algunas propiedades objetivo pueden ser composiciones, algunas propiedades pueden basarse en otros fenómenos físicos. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir una mezcla de carbón con una fluidez entre 100 divisiones de dial por minuto (ddpm) y 1200 ddpm o algún otro intervalo de fluidez, tal como 200 ddpm y 1200 ddpm. Son posibles otros intervalos de fluidez para una mezcla de carbón. Por ejemplo, la fluidez de una mezcla de carbón puede ser mayor o igual a 100 ddpm.

[0077] Tal como se describe en otra parte, algunas modalidades de la presente tecnología pueden utilizar un horno de coque para producir un producto de coque o una población de productos de coque a partir de una mezcla de carbón. Tal como se usa en esta descripción, una fusión de cenizas de una mezcla de carbón puede ser equivalente a una fusión de cenizas de un producto de coque producido a partir de la mezcla de carbón, y los dos términos pueden usarse indistintamente. Algunas modalidades pueden recomendar una mezcla de carbón con una AFT que esté dentro de un intervalo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recomendar una mezcla de carbón con una AFT igual a 2326 °F u otra temperatura que sea menor que 2500 °F u otro umbral de AFT. En algunas modalidades, el umbral de AFT puede variar en función de otros parámetros del producto de coque objetivo. En muchos casos, una mezcla de carbón puede usarse para producir un producto de coque con una fusión de cenizas relativamente reducida, donde una fusión de cenizas reducida puede proporcionar ventajas posteriores durante las operaciones de fundición al requerir menos recursos de fundición o menos producto de coque para producir acero u otros productos de fundición.

[0078] Se pueden utilizar varios tipos de algoritmos de optimización para determinar un punto

de mezcla para una mezcla de carbón de varios componentes con el fin de satisfacer un parámetro de mezcla de carbón objetivo cuando está confinado dentro de un espacio de parámetros de carbón. Algunas modalidades pueden utilizar un solucionador lineal para determinar vectores que representan puntos de mezcla en un espacio de parámetros. Por ejemplo, un conjunto de parámetros de coque puede incluir un primer subconjunto de parámetros de coque y un segundo subconjunto de parámetros de coque, donde el primer subconjunto de parámetros de coque no es lineal con respecto a cualquier parámetro de un espacio de parámetros de carbón, y donde el segundo subconjunto de parámetros de coque es lineal con respecto a al menos un parámetro de carbón. Algunas modalidades pueden determinar un punto de mezcla mediante el uso de una descomposición inferior-superior (LU) de una matriz que representa parámetros de carbón para resolver un vector que representa el segundo subconjunto de parámetros de coque, donde el vector de solución puede representar un primer punto de mezcla. Algunas modalidades pueden predecir, luego, un parámetro de coque, tal como una CSR, en función del primer punto de mezcla. La determinación de que el parámetro de coque no lineal previsto no satisface un criterio basado en un parámetro de coque no lineal objetivo (por ejemplo, no ser igual al parámetro objetivo, ser mayor o menor que el parámetro objetivo por un valor que es mayor que un umbral de tolerancia, etc.) puede provocar que algunas modalidades seleccionen puntos de mezcla adicionales. Algunas modalidades pueden determinar, luego, un conjunto de parámetros de carbón correspondientes a cada punto de mezcla adicional y simular o predecir de otro modo parámetros de coque adicionales en función del conjunto de parámetros de carbón. Algunas modalidades pueden seleccionar, luego, uno o más de los puntos de mezcla adicionales para usar como una formulación de mezcla de carbón en función de los parámetros de coque adicionales previstos.

[0079] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar la formulación de la mezcla de carbón de modo que una fracción en masa de VM agregada de la mezcla de carbón resultante satisfaga una fracción en masa de VM objetivo o un intervalo de valores objetivo. En algunas modalidades, se puede predeterminar un intervalo de valores objetivo para una fracción en masa de VM objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recibir instrucciones de programa para recomendar una formulación de mezcla de carbón, de modo que la fracción en masa de VM agregada esté entre 17,0 % y 25,0 %. Algunas modalidades pueden recomendar, luego, una formulación de mezcla de carbón que satisfaga

el intervalo. Por ejemplo, con referencia a la FIGURA 3 y la FIGURA 5, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recomendar una formulación de mezcla de carbón que incluye 12 % de finos de coque, 48 % de carbón T1, 20 % de carbón T2 y 20 % de carbón T9. Si bien lo anterior describe un intervalo de VM de 17,0 % a 25,0 %, son posibles otros umbrales. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden limitar una fracción en masa de VM de una mezcla de carbón a menos de 27,0 %, 30,0 % o algún otro valor.

[0080] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden controlar un sistema de mezcla para producir una mezcla de carbón según la recomendación de mezcla de carbón. Algunas modalidades pueden implementar sistemas de control para recuperar, procesar y mezclar carbones de diferentes tipos para producir una mezcla de carbón de acuerdo con las proporciones y los materiales indicados por una formulación de mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar una formulación de mezcla de carbón que incluye 12 % de finos de coque, 48 % de carbón T1, 20 % de carbón T2 y 20 % de carbón T9. Algunas modalidades pueden accionar, luego, un conjunto de mecanismos de control para mezclar 12 toneladas de finos de coque, 48 toneladas de carbón T1, 20 toneladas de carbón T2 y 20 toneladas de carbón T9 en una cámara de mezcla para producir una mezcla de carbón.

III. Mezclas de carbón de coquización para producir productos de coque de fundición, y sistemas y métodos asociados

[0081] La FIGURA 8 es un diagrama de flujo de un proceso para producir un producto de coque mediante el uso de un horno de coque, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Algunas modalidades pueden aumentar la humedad de una mezcla de carbón, tal como se indica en el bloque 812. Con referencia a la FIGURA 2, una mezcla de carbón que se está cargando en la cámara del horno 212, primero, puede exponerse a agua para aumentar la humedad de la mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden activar una bomba o válvula para rociar una mezcla de carbón con agua u otro fluido para aumentar la humedad de una mezcla de carbón a medida que la mezcla de carbón se transporta a lo largo de una cinta transportadora. Debe entenderse que un fluido que incluye agua puede describirse como agua en esta descripción.

[0082] En algunas modalidades, se puede controlar una bomba, válvula u otro mecanismo para rociar fluido o exponer de otro modo una mezcla de carbón a un fluido para aumentar una

fracción en masa de humedad de la mezcla de carbón hasta un valor entre 1,0 % y 20,0 %. Algunas modalidades pueden permitir un grado de tolerancia al aumentar una fracción en masa de humedad de una mezcla de carbón. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden aumentar la fracción en masa de humedad de una mezcla de carbón para que sea mayor o igual a 8,0 % y menor o igual a 13 %. Algunas modalidades pueden utilizar tolerancias más estrictas, tal como exponer una mezcla de carbón a una cantidad de agua, de modo que la fracción en masa de humedad de la mezcla de carbón se establezca entre el 10 % y el 12 %. Algunas modalidades pueden determinar una cantidad de agua a rociar en función de una fracción en masa VM de la mezcla de carbón. Algunas modalidades pueden agregar agua de modo que una disminución de 1 % en la fracción en masa de humedad a partir de un contenido de humedad de referencia permita una disminución de 1 % en la VM a partir de un valor de referencia. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden agregar agua a una mezcla de carbón de modo que una fracción en masa de humedad para la mezcla de carbón sea igual a una fracción en masa de VM de la mezcla de carbón menos un valor preestablecido, tal como 10 %. Además, aunque algunas modalidades utilizan 10 % como valor preestablecido, son posibles otros valores, tales como 15 %, 14 %, 10 %, 8 %, 5 % o algún otro valor umbral menor que 50 %.

[0083] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden incluir sensores para evaluar la humedad de una mezcla de carbón y aumentar o cambiar adicionalmente una fracción en masa de humedad de una mezcla de carbón en función de la humedad medida. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar que la humedad medida de una mezcla de carbón es menor que un primer umbral de humedad y, en respuesta, agregar fluido adicional a la mezcla de carbón. De manera alternativa, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar que una humedad medida es mayor que una segunda humedad y, en respuesta, agregar mezcla de carbón seco adicional a la mezcla de carbón humedecida. En algunas modalidades, el primer umbral de humedad puede ser un valor mayor o igual a 1,0 %, tal como 5,0 %, 10,0 %, 12,0 %, etc., y el segundo umbral de humedad puede ser un valor menor o igual a 15,0 %, tal como 15,0 %, 13,0 %, etc.

[0084] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden abrir las compuertas del horno de coque, tal como se indica en el bloque 824. Algunas modalidades pueden mantener abiertas las compuertas de un horno de coque durante un período de calentamiento inicial del horno de

coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden utilizar un conjunto de controladores para enviar instrucciones a un accionador de compuerta para abrir un conjunto de compuertas del conducto de la suela. Una vez configurado en un estado abierto, el conjunto de compuertas del conducto de la suela puede permitir la comunicación de fluidos entre la atmósfera abierta y un conducto de la suela de un horno de coque antes de colocar una mezcla de carbón en el horno de coque y mientras la mezcla de carbón se coloca en el horno de coque. Además, tal como se describe en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la presente tecnología pueden utilizar el conjunto de instrucciones enviadas por el controlador al mismo accionador o a un accionador diferente para cambiar el estado de la compuerta a un estado parcialmente cerrado o un estado completamente cerrado.

[0085] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden cargar la mezcla de carbón en el horno de coque, tal como se indica en el bloque 828. Tal como se describe en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la presente tecnología pueden utilizar un horno de coque para producir productos de coque a partir de una mezcla de carbón. Algunas modalidades pueden cargar la mezcla de carbón mediante el uso de una máquina de cargador de empuje y operaciones asociadas con la máquina de cargador de empuje.

[0086] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden aprovechar un horno de coque con recuperación de calor para reducir el consumo de combustible o energía de un horno de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar que se ha alcanzado una temperatura mínima asociada con el horno de coque mediante una temperatura medida del horno de coque. La temperatura mínima puede variar según una implementación específica o un horno de coque y puede ser una temperatura mayor que 500 °F, tal como 1000 °F, 1500 °F o alguna otra temperatura mayor que 500 °F. En respuesta a una determinación de que una temperatura medida del horno de coque ha alcanzado la temperatura mínima, algunas modalidades de la presente tecnología pueden iniciar operaciones de recuperación de calor, tales como operaciones de recuperación de vapor, y reducir el consumo de combustible del horno de coque.

[0087] Algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar operaciones de compuerta para mantener una temperatura de coquización de la corona y el conducto de la suela del horno de coque durante una duración de la pirólisis del ciclo de coquización, tal como se indica en el bloque 832. Algunas modalidades pueden realizar un conjunto de operaciones

de apertura y operaciones de cierre de un conjunto de compuertas durante un ciclo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden calentar inicialmente un horno durante un ciclo de coquización mientras un conjunto de compuertas de entrada del horno de coque está en una configuración completamente abierta. Algunas modalidades pueden iniciar, luego, una operación de cierre que hace que el conjunto de compuertas de entrada cambie a una segunda configuración, donde la segunda configuración puede ser una configuración parcialmente abierta o una configuración completamente cerrada. En algunas modalidades, se puede considerar que la duración de la pirólisis (a veces denominada duración de la coquización) ha comenzado una vez que se ha alcanzado una temperatura mínima de coquización, donde la temperatura mínima de coquización puede ser un valor que caracteriza las temperaturas de coquización de la fundición, donde la temperatura de coquización puede ser una temperatura mayor que una temperatura de subproductos de 1800 °F o una temperatura menor que una temperatura de alto horno de 2500 °F. Por ejemplo, la temperatura mínima de coquización puede ser un valor dentro de un intervalo, donde el intervalo puede estar entre 1200–2300 °F, 1800–2300 °F o 2000–2400 °F. Por ejemplo, la temperatura mínima de coquización puede ser de 1990 °F. En algunas modalidades, se puede considerar que la duración de la pirólisis ha finalizado una vez que ha finalizado una reacción de coquización, donde un carbón o una mezcla de carbón que ha llegado al final de la reacción de coquización se puede denominar «coquizado». Algunas modalidades de la presente tecnología pueden detectar el final de una reacción de coquización en un horno en función de una reducción de temperatura en la temperatura de la corona o en la temperatura del conducto de la suela. En algunas modalidades, la duración de un ciclo de coquización puede determinarse como la suma de la duración del tiempo de pirólisis y un tiempo de reposo, donde un tiempo de reposo representa la cantidad de tiempo que un producto de coque se deja en un horno al concluir una duración de la pirólisis antes de que el producto de coque se retire del horno.

[0088] Algunas modalidades pueden utilizar mediciones de sensores para determinar si se debe abrir o cerrar una válvula. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden recuperar un conjunto de mediciones de temperatura de la corona desde un sensor de temperatura de la corona. Algunas modalidades pueden determinar, luego, si el conjunto de mediciones de temperatura de la corona satisface un conjunto de criterios de temperatura de la corona determinando, si un umbral de temperatura de la corona ha sido satisfecho por una o

más mediciones de temperatura. De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar si el conjunto de mediciones de temperatura de la corona satisface un conjunto de criterios de temperatura de la corona al determinar si un umbral de tasa de temperatura se satisface mediante cambios en una secuencia de mediciones de temperatura de la corona. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar si una tasa de cambio de temperatura de una temperatura de la corona ha aumentado para volverse mayor que un umbral de la tasa de temperatura de 50 °F por hora o algún otro valor que sea menor o igual a 50 °F por hora (por ejemplo, un umbral de la tasa de temperatura de 35 °F por hora). En respuesta a una determinación de que la tasa de cambio de temperatura satisface el umbral de la tasa de temperatura al ser mayor o igual que el umbral de la tasa de temperatura, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar un controlador para accionar una compuerta para cerrarla total o parcialmente con el fin de reducir una cantidad de flujo de aire hacia un horno de coque.

[0089] Algunas modalidades pueden mantener una desigualdad de temperatura entre la temperatura de la corona del horno de coque y la temperatura del conducto de la suela del horno de coque durante la duración de la pirólisis. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden mantener una temperatura de la corona en un intervalo de 2000-2400 °F durante una duración de la pirólisis, donde la temperatura de la corona puede variar dentro de un intervalo predeterminado. Además, son posibles intervalos de temperatura más estrechos para la temperatura de la corona. Por ejemplo, la temperatura de la corona puede variar entre 1149 °C (2100 °F) y 1316 °C (2300 °F). Además, se puede modificar la temperatura objetivo para diferentes operaciones de coquización. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden mantener un intervalo de temperatura que está dentro de los 100 °F de una primera temperatura objetivo igual a 2000 °F, de modo que una temperatura de la corona u otra temperatura de coquización en un horno de coque no varíe en más de 100 °F desde 2000 °F durante una duración de la pirólisis o una subduración predeterminada de la duración de la pirólisis. Además, son posibles otras diferencias de temperatura o temperaturas objetivo para una duración o subduración aproximada de pirólisis isotérmica, donde la diferencia de temperatura puede ser menor que 200 °F y la temperatura objetivo puede ser una temperatura entre 1300 °F y 2600 °F. Por ejemplo, la diferencia de temperatura puede ser menor que 25 °F, 50 °F, 100 °F, 150 °F o 200 °F, y la temperatura objetivo puede ser menor que 1850 °F, 1950 °F,

2050 °F, 2200 °F, 2400 °F o 2600 °F.

[0090] A pesar de las variaciones en la temperatura de la corona, algunas modalidades de la presente tecnología pueden regular una temperatura de la corona y la temperatura del conducto de la suela, de modo que la temperatura de la corona sea mayor que la temperatura del conducto de la suela durante toda la duración de la pirólisis. Algunas modalidades pueden lograr este control al accionando una compuerta de entrada que controla el flujo a través de un conducto de entrada o una compuerta del conducto de la suela que controla el flujo a través de un conducto de la suela. Algunas modalidades pueden controlar el período entre cambios en el estado de una compuerta y los estados específicos del amortiguador para cada subperíodo respectivo de una duración de la pirólisis. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden ejecutar una secuencia de cierre de una compuerta de entrada o de una compuerta del conducto de la suela desde una configuración completamente abierta a una configuración parcialmente cerrada antes de volver a abrir la compuerta a la configuración completamente abierta. En algunas modalidades, la secuencia de operaciones de cierre y apertura de la compuerta puede ser más compleja que una operación de apertura y cierre simplista. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden mantener una compuerta abierta durante un primer período, cerrar parcialmente la compuerta dentro de las cuatro horas posteriores al cierre (por ejemplo, iniciar las operaciones de cierre dentro de las dos horas posteriores al inicio de una duración de la pirólisis), reabrir la compuerta hasta una configuración completamente abierta, cerrar la compuerta hasta una configuración completamente cerrada, reabrir la compuerta hasta una configuración parcialmente abierta, abrir completamente la compuerta hasta una configuración completamente abierta y, luego, cerrar completamente la compuerta hasta una configuración completamente cerrada.

[0091] En algunas modalidades, una duración de la pirólisis o un ciclo de coquización puede ser mayor o igual a 12 horas, mayor o igual a 24 horas, mayor o igual a 48 horas, mayor o igual a 72 horas, mayor o igual a 96 horas. En algunas modalidades, las operaciones para aumentar la humedad de una mezcla de carbón pueden permitir que un horno mantenga una duración de la pirólisis más prolongada, tal como aproximadamente 96 horas, aproximadamente 72 horas, aproximadamente 48 horas u otra duración mayor a 24 horas. Por ejemplo, después de aumentar la humedad de una mezcla de carbón, tal como se describe en el bloque 812, algunas modalidades de la presente tecnología pueden ser capaces de aumentar la cantidad de tiempo

que la mezcla de carbón está expuesta a una temperatura de coquización de 24 horas a 48 horas o más de 48 horas.

[0092] Algunas modalidades pueden mantener un perfil de temperatura relativamente isotérmico para una temperatura de la corona durante una duración de la pirólisis, donde un perfil de temperatura relativamente isotérmico puede significar que la temperatura de la corona está dentro de un intervalo predefinido que está dentro del 10 % o 20 % de un valor medio o valor promedio. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden mantener una temperatura de la corona que satisface un intervalo de temperatura de 50 °F desde 2000 °F durante una duración, de modo que la temperatura de la corona esté entre 1950 °F y 2050 °F durante una duración de la pirólisis. De manera alternativa, algunas modalidades de la presente tecnología pueden mantener una temperatura de la corona dentro de un intervalo de temperatura de la corona durante una subduración de la duración de la pirólisis. Por ejemplo, durante una duración de la pirólisis de 24 horas, algunas modalidades de la presente tecnología pueden operar un conjunto de válvulas para mantener una temperatura de la corona entre 2000 °F y 2080 °F durante una subduración cuando la duración de la pirólisis es de al menos 12 horas. El límite del intervalo de temperatura puede incluir varios intervalos de temperatura, tales como una temperatura de 20 °F, una temperatura de 40 °F o algún otro valor menor que 200 °F. Además, el intervalo de temperatura se puede centrar alrededor de un valor específico, como 1900 °F, 2000 °F, 2100 °F o algún otro valor de temperatura. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden preconfigurarse para utilizar un intervalo de temperatura específico.

[0093] Algunas modalidades pueden recuperar una población de productos de coque del horno de coque, tal como se indica en el bloque 844. Un horno de coque puede producir una población de productos de coque que incluyen productos de coque de fundición, productos de coque en forma de huevo y finos de coque. Las operaciones descritas en esta descripción pueden dar como resultado varias propiedades, dimensiones u otros atributos favorables de la población de productos de coque, por ejemplo, un producto de coque de fundición. Algunas modalidades pueden controlar un horno de coque para diseñar una distribución específica de productos de coque entre una población de productos de coque. Por ejemplo, operaciones para mantener una duración de la pirólisis aproximadamente isotérmica, de modo que al menos 60,0 % de la población sea producto de coque de fundición, y al menos 20 % de la población sea producto

de finos o productos de coque en forma de huevo. Al utilizar operaciones que convierten la mayor parte de la producción de una operación de coquización en productos de coque de fundición, algunas modalidades de la presente tecnología pueden aumentar la eficiencia de las operaciones de fundición posteriores. Además, tal como se usa en esta descripción, un producto de coque en forma de huevo puede incluir un producto de coque que permanece después de tamizarse entre 2 y 4 pulgadas.

[0094] Tal como se analizará en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar un producto de coque de fundición con propiedades de resistencia al impacto por caída ventajosas. Los productos de coque con mayores índices de supervivencia al impacto por caída pueden conservar formas útiles durante las operaciones de fundición posteriores. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque que tiene una resistencia al impacto por caída de 4 pulgadas mayor o igual a 80 %, donde una resistencia al impacto por caída de 4 pulgadas indica la fracción esperada de productos de coque que no muestran una rotura significativa cuando se dejan caer desde una altura de 4 pulgadas. De manera similar, los mismos productos de coque o diferentes productos de coque pueden tener una resistencia al impacto por caída de 2 pulgadas que sea mayor o igual al 90 %, donde una resistencia al impacto por caída de 90 % puede indicar una resistencia significativa del producto.

[0095] Tal como se analizará en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar un producto de coque de fundición con valores de fluidez ventajosos. Los productos con mayores índices de supervivencia al impacto por caída pueden ayudar a conservar formas útiles durante las operaciones de fundición posteriores. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque que tiene una fluidez mayor que un umbral de fluidez, tal como una fluidez mayor o igual a 200 ddpm. Una mayor fluidez puede aumentar la eficiencia de la reacción durante las operaciones de fundición posteriores.

[0096] Tal como se analizará en otra parte de esta descripción, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar un producto de coque de fundición con AFT ventajosas y productos de coque con AFT menores. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque que tiene una fluidez mayor que un umbral de fluidez, tal como una fluidez mayor o igual a 100 divisiones de dial por minuto (ddpm), mayor

o igual a 150 ddpm, o mayor o igual a algún otro valor, 200 ddpm, tal como 250 ddpm, 260 ddpm, 270 ddpm, 280 ddpm, 290 ddpm, o dentro de un intervalo de 250-300 ddpm. Una mayor fluidez puede aumentar la eficiencia de la reacción durante las operaciones de fundición posteriores.

5 **[0097]** La FIGURA 9 es un gráfico que muestra un perfil de combustión para una operación de un producto de coque de alto horno. El gráfico 900 muestra operaciones de alto horno de un horno de coque durante un ciclo de coquización. La línea 950 muestra las posiciones de una compuerta de entrada del horno de coque. Tal como se muestra en una primera subduración indicada por una primera región 901, la compuerta del horno permanece en un estado
10 completamente abierto durante más de 12 horas. Tal como lo muestra la caída de la línea 950 al final de la primera subduración, la compuerta puede controlarse y posicionarse en diferentes estados parcialmente cerrados durante las siguientes 36 horas, tal como se muestra en una segunda subduración indicada en una segunda región 902. Luego, la compuerta queda completamente cerrada, tal como lo muestra la tercera subduración indicada en una tercera
15 región 903.

[0098] Tal como lo muestra la línea de medición de temperatura de la corona 910, la temperatura de la corona del coque de alto horno puede variar significativamente con el tiempo y puede variar en más de 400 °F. Por ejemplo, la temperatura de la corona puede ser de 2004 °F en el punto temporal 911 y 2449 °F en el punto temporal 912. Además, la diferencia relativa entre la
20 temperatura de la corona y la temperatura de entrada puede cambiar durante el ciclo de coquización representado por el gráfico 900. Tal como se observa en la línea de temperatura de entrada 920, la temperatura de entrada es menor que la temperatura de la corona hasta un momento representado por el punto temporal 921, permanece mayor que la temperatura de la corona hasta un momento representado por el punto temporal 922, y permanece menor que la
25 temperatura de la corona hasta un momento representado por el punto temporal 923. Tanto la variación de temperatura en la temperatura de la corona como el cambio repetido de temperaturas relativas pueden generar inhomogeneidades y una menor cristalización en cualquier producto de coque producido mediante operaciones representadas en el gráfico 900.

[0099] La FIGURA 10 es un gráfico que muestra un perfil de combustión para un producto de coque de fundición de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. El gráfico
30 1000 muestra operaciones de coque de fundición de un horno de coque durante un ciclo de

coquización. La línea 1050 muestra las posiciones de una compuerta de entrada del horno de coque. Tal como se muestra en una primera subduración indicada por una primera región 1001, la compuerta del horno permanece en un estado completamente abierto durante aproximadamente dos horas. Tal como lo muestra la caída de la línea 1050 al final de la primera subduración, la compuerta puede controlarse y posicionarse en un primer estado parcialmente cerrado que es un estado cerrado mayor que 50 % de cierre y mantenerse en este estado durante una segunda subduración representada por una segunda región 1002.

[0100] Después de una operación de cierre inicial, la compuerta puede mantenerse durante un período de tiempo predeterminado (por ejemplo, 10 horas, 20 horas u otra duración mayor que 2 horas). De manera alternativa o adicional, se puede activar la compuerta para que se vuelva a abrir más tarde en función de una medición de temperatura. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden detectar que la temperatura de la corona representada por la línea 1050 satisface un umbral de temperatura (por ejemplo, superando un umbral de valor máximo o siendo menor que un umbral de valor mínimo) y, en respuesta, realizar una operación de apertura de la compuerta. Tal como lo muestran los tiempos representados por las regiones 1003, 1004, 1005, 1006 y 1007, la compuerta puede operarse de forma repetida de acuerdo con un programa predeterminado o un conjunto de umbrales para abrir y cerrar la compuerta, donde la operación de apertura o las operaciones de cierre pueden cambiar una compuerta a un estado completamente abierto, un estado parcialmente cerrado o un estado completamente cerrado. Las operaciones que se muestran en la línea 1050 para abrir o cerrar una compuerta se muestran en el diagrama 1000 para (1) cerrar una compuerta hasta un primer estado parcialmente cerrado, (2) reabrir la compuerta hasta un estado completamente abierto, (3) cerrar la compuerta hasta un segundo estado parcialmente cerrado, (4) reabrir la compuerta hasta el estado completamente abierto, (5) cerrar la compuerta hasta un segundo estado parcialmente cerrado, (6) cerrar la compuerta hasta un estado completamente cerrado, (7) reabrir la compuerta hasta el segundo estado parcialmente cerrado, (8) reabrir la compuerta hasta el estado completamente abierto y, luego, (9) cerrar la compuerta hasta un estado completamente cerrado. Sin embargo, son posibles otras secuencias de operaciones de la compuerta, tales como un cierre hasta un estado completamente cerrado en la segunda subduración representada por la segunda región 1002.

[0101] Algunas modalidades pueden tratar el momento en el que la temperatura de un horno

alcanza un umbral de temperatura mínima de coquización como el inicio de una duración de la pirólisis, durante la cual se produce la mayor parte de la reacción de coquización para producir productos de coque a partir de una mezcla de carbón en un horno de coque. Algunas modalidades pueden tener múltiples criterios para determinar que se ha producido el inicio de una duración de la pirólisis, tal como un primer criterio que requiere que se alcance un umbral de temperatura mediante una temperatura de la corona y un segundo criterio que requiere que la temperatura de la corona sea mayor que una temperatura de conducto de la suela. Tal como se puede observar mediante una comparación de la temperatura de la corona 1010 con la temperatura del conducto de la suela 1020, la temperatura de la corona puede ser mayor que las temperaturas del conducto de la suela durante la totalidad de la duración de la pirólisis cuando se implementa una operación de producto de coque de fundición. Además, tal como se puede observar en el gráfico 1000, la temperatura de la corona 1010 puede ser relativamente isotérmica con respecto a una temperatura objetivo de 2100 °F y una diferencia de temperatura permisible de 100 °F en la subduración de la pirólisis representada por las regiones 1003-1006. Al mantener esta temperatura relativamente isotérmica, algunas modalidades de la presente tecnología pueden aumentar la eficiencia de cristalización, lo que puede permitir una liberación de carbono más eficiente durante una operación de fundición.

IV. Productos de coque de fundición y sistemas, dispositivos y métodos asociados

[0102] La FIGURA 11 ilustra una partícula de coque configurada para calentarse en un horno de cubilote de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Tal como se muestra en la FIGURA 11, C(b) = carbono a granel, S(b) = azufre a granel, Cenizas (b) = cenizas a granel, C(s) = carbono superficial, S(s) = azufre superficial, Cenizas (s) = cenizas superficiales (que se acumula a partir del núcleo que se contrae), Fe(s) = Fe superficial, C*(s) = superficie de carbono activo, FeC, S*(s) = superficie de azufre activo, FeS, C(l) = carbono en líquido, y S(l) = azufre en líquido. La partícula de coque 1100 incluye un núcleo 1105 que se contrae debido a la disolución de carbono en un horno de cubilote, en donde la partícula de coque 1100 puede estar rodeada por un líquido a granel 1120. A medida que el núcleo 1105 de la partícula de coque 1100 se contrae, por ejemplo, debido a la oxidación y/o combustión del carbono de la partícula de coque 1100, comienzan a formarse capas de difusión que comprenden ceniza y hierro que se encuentran radialmente hacia afuera del núcleo 1105. Por ejemplo, la partícula de coque 1100 puede incluir una primera capa de difusión de ceniza 1110

(«primera capa de difusión 1110») que comprende ceniza que se encuentra radialmente hacia afuera del núcleo 1105 y rodea al menos parcialmente el núcleo 1105, y una segunda capa de difusión de hierro 1115 («segunda capa de difusión 1115») que se encuentra radialmente hacia afuera del núcleo 1105 y la primera capa de difusión 1110 y rodea al menos parcialmente la primera capa de difusión 1110.

[0103] La primera capa de difusión 1110 puede ser sólida o líquida, y puede bloquear eficazmente la superficie del coque, o bajar el área de transferencia de masa a través de la superficie del coque hacia el metal líquido circundante. De manera adicional o alternativa, la primera capa de difusión 1110 permite que la oxidación y/o combustión del carbono de la partícula de coque se retrase en el tiempo y/o la temperatura, de modo que el coque no produzca monóxido de carbono en la región de secado y, en su lugar, se oxide y se combustione en la región de reacción del horno de cubilote. La primera capa de difusión 1110 que comprende ceniza se forma en parte debido a la temperatura de fusión de las cenizas del producto de coque, que está directamente relacionada con la composición de la partícula de coque 1100. Tal como se describe en otra parte de la presente, la temperatura de fusión de las cenizas de coque es más baja que la de los productos de coque tradicionales y no puede superar los 2650 °F, 2600 °F, 2550 °F, 2500 °F, 2450 °F, 2400 °F, 2350 °F, 2300 °F, 2250 °F, 2200 °F, 2150 °F, 2100 °F, 2050 °F, 2000 °F, 1950 °F, 1900 °F, 1850 °F, o dentro del intervalo de 1800–2600 °F, 1800–2500 °F, 1900–1300 °F, o 2000–2200 °F. Esta temperatura de fusión de cenizas relativamente baja puede permitir la formación de la capa de cenizas de difusión, por ejemplo, en la región de secado del horno de cubilote, que impide la cocción del coque, o más particularmente el núcleo 1105, antes de la región de reacción. Adicional o alternativamente, esta temperatura de fusión de cenizas relativamente baja puede optimizar el tiempo de contacto entre el coque 1100 y el metal dentro del horno de cubilote una vez que el metal se funde y se vuelve fundido en la región de reacción del horno de cubilote. Como resultado, puede transferirse más carbono del coque 1100 al metal. Esto contrasta con los productos de coque convencionales, que pueden tener una temperatura de fusión de cenizas más alta, que da como resultado que la ceniza se forme más profundamente (es decir, aguas abajo) de la región de reacción y, por lo tanto, limita el tiempo de contacto entre el coque y el metal fundido, lo que da como resultado una transferencia de carbono relativamente menor.

[0104] La segunda capa de difusión 1115 se forma a medida que se calienta la partícula de

coque 1100 dentro del horno de cubilote y se contrae el núcleo de coque 1105. La segunda capa de difusión puede limitar aún más la cocción del coque dentro de la región de secado y/o ayudar a garantizar que la gran mayoría de la combustión y oxidación del coque no se produzca hasta que el coque 1100 llegue a la región de reacción. De manera adicional o alternativa, el carbono y el azufre pueden competir entre sí para pasar a través de la segunda capa de difusión 1115. Es decir, la presencia de azufre puede disminuir de manera no deseada la tasa de transferencia de carbono desde y fuera del coque 1100.

[0105] En algunas modalidades, el coque puede estar prefluxado y/o incluir (por ejemplo, dopado con) un aditivo (por ejemplo, calcio, hierro, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxido de hierro, óxido de sodio y óxido de potasio, y/o u otros óxidos que tienen un punto de fusión relativamente bajo) que actúa como material catalítico. Como ejemplo, el sodio puede actuar como agente prefundente y el hierro puede actuar como agente prefundente y catalítico. El material catalítico puede atrapar azufre y utilizarse allí para fluxar el azufre fuera del coque. En algunas modalidades, el coque prefluxado es el resultado de seleccionar carbones para producir el coque que tienen materiales de ceniza proporcionalmente más altos en los óxidos descritos anteriormente. Esto contrasta con los productos de coque que pueden agregar partículas/rocas de óxido de calcio o carbonato de calcio como fundente para eliminar las cenizas, ya que tales métodos son ineficientes debido a la muy baja proporción superficie-volumen para que realmente se produzca el proceso de fluxado. Además, el coque prefluxado y/o los agentes catalíticos pueden promover la deposición de carbono a través de la reacción de Boudouard, generando de ese modo más calor y aumentando la cantidad de carbono que está presente dentro de la región de reacción (por ejemplo, la zona de combustión) del horno de cubilote. Sin limitarse a ninguna teoría, los agentes prefundentes pueden alterar la temperatura de liquidez de la escoria (por ejemplo, escoria 116; FIGURA 1) o, más particularmente, pueden alterar la temperatura de liquidez de las cenizas en la superficie o el interior del coque, que se mezcla con la escoria a granel.

[0106] La química del coque mejorada tiene como objetivo aumentar la disolución del carbono de la partícula de coque 1100 en el metal (es decir, el hierro o el acero) dentro del horno de cubilote. Durante la operación, a medida que el carbono se disuelve en el hierro líquido a granel dentro del horno de cubilote, el núcleo de coque 1105 se contrae y las cenizas y las impurezas se acumulan en la superficie. Además, tanto el carbono como el azufre se disocian de la

superficie, lo que puede verse favorecido por la actividad catalítica del Fe, Ni y otros metales. Una temperatura de fusión de cenizas más baja, representada por una temperatura de fusión de cenizas (tal como se describe en otra parte de la presente), permite una eliminación de cenizas mejorada mediante una conversión más rápida de las cenizas en una fase líquida y reduce la resistencia de las cenizas. El carbono y el azufre se difunden a través de la fina capa de difusión de hierro. Además, el carbono y el azufre son competitivos y resistentes a la disolución o transferencia entre sí. Como tal, un bajo contenido de azufre en el coque mejora la transferencia de carbono. Además, los productos de coque que tienen un índice de reactividad de coque alto (CRI) o una resistencia de coque después de la reacción (CSR) baja (tal como se describe en otro lugar en la presente) permiten que se disocien más formas de carbono reactivo de la superficie, aumentando de ese modo la tasa de disolución del carbono.

[0107] Varios metales agregados a un producto de coque de fundición producido a partir de una mezcla de carbón mediante cenizas en la mezcla de carbón, o introducidos de otro modo en el producto de coque de fundición, pueden proporcionar funciones catalíticas que aumentan la tasa de disolución del carbono. En algunas modalidades, un elemento con múltiples estados de oxidación (por ejemplo, un metal) puede cambiar los estados de oxidación en un producto de coque para proporcionar actividad catalítica. Por ejemplo, un producto de coque puede incluir sodio, que puede pasar de un Na en estado no oxidado a un Na^+ en un primer estado de oxidación iónico. De manera alternativa o adicional, un producto de coque puede incluir hierro, que puede pasar de un Fe en estado no oxidado a Fe^{2+} o Fe^{3+} en estados oxidados. Además, el producto de coque puede incluir los elementos en estado de multioxidación en forma oxidada. Por ejemplo, el producto de coque puede incluir Na^+ en forma de sal o Fe^{3+} en forma de Fe_2O_3 . El producto de coque también puede incluir otros tipos de metales, tales como níquel, cobre, etc. El material catalítico incrustado en el producto de coque aumenta la disolución del carbono durante la producción de acero porque al menos una parte del material catalítico permanecerá en contacto con la interfaz entre el producto de coque y un baño de hierro líquido durante la producción de acero.

[0108] La FIGURA 12 representa un producto de coque de fundición ilustrativo y una tabla de propiedades del coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Algunas modalidades pueden usar un horno de coque, tal como el horno 200 de la FIGURA 2, para producir un producto de coque de fundición 1200. En algunas modalidades, el

producto de coque de fundición 1200 puede tener una forma generalmente oblonga y puede tener dimensiones diferentes o similares a lo largo de una primera longitud 1212, una segunda longitud 1214 o una tercera longitud 1216. Por ejemplo, la primera longitud 1212 puede ser mayor que 6,0 pulgadas (por ejemplo, 9,0 pulgadas), la segunda longitud puede ser mayor que 2,5 pulgadas (por ejemplo, 4,0 pulgadas), y la tercera longitud puede ser mayor que 2,5 pulgadas (por ejemplo, 4,0 pulgadas). En algunas modalidades, una o más longitudes de la forma del producto de coque de fundición 1200 pueden limitarse a un valor máximo. Por ejemplo, la primera longitud 1212 puede estar entre 6,0 pulgadas y 12,0 pulgadas.

[0109] Debido a las variaciones en la forma específica de los productos de coque de fundición, un producto de coque de fundición puede caracterizarse por una variedad de diámetros hidráulicos. Por ejemplo, el producto de coque de fundición 1200 puede tener un diámetro hidráulico mayor o igual a 1,0 pulgadas, mayor o igual a 2,0 pulgadas, o mayor o igual a 3,0 pulgadas, etc. En algunas modalidades, el diámetro hidráulico de un producto de coque de fundición puede ser mayor que un diámetro real del producto de coque de fundición debido a la geometría de la sección transversal del producto de coque de fundición.

[0110] La tabla 1250 incluye un conjunto de atributos del producto de coque de fundición 1200. Los atributos de los productos de coque de fundición que se muestran en la tabla 1250 pueden caracterizar los productos de coque producidos mediante las operaciones descritas en esta descripción. Dichos atributos pueden ser ventajosos para las operaciones de fundición, tal como tener valores de AFT más bajos en comparación con los productos de coque convencionales. Estos valores de AFT más bajos se pueden representar de varias formas, tales como los valores de IDT o ST. Por ejemplo, la muestra «S4» que se muestra en la tabla 1250 tiene una IDT de fusión de cenizas igual a 2150 °F (1177 °C). Algunas modalidades pueden realizar operaciones para reducir una fusión con bajo contenido de cenizas a un producto de coque en función de un umbral de AFT o un intervalo objetivo de fusión de cenizas.

[0111] En algunas modalidades, un valor de AFT objetivo o un intervalo de AFT puede variar según el tipo de valor de fusión de cenizas que se utilice. En algunas modalidades, un producto de coque producido puede tener una IDT entre 2100 °F y 2400 °F. Algunas modalidades pueden incluir límites más estrictos para los productos de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden incluir un producto de coque que tiene una IDT entre 2100 °F (1149 °C) y 2250 °F (1232 °C). Algunas modalidades, pueden cambiar las mezclas de carbón,

los tiempos de reposo o las duraciones en diferentes posiciones de las compuertas para satisfacer una IDT objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden seleccionar una mezcla de carbón o determinar las operaciones del horno en función de un valor de IDT objetivo de aproximadamente 2100 °F, aproximadamente 2150 °F, aproximadamente 2200 °F, aproximadamente 2250 °F, aproximadamente 2300 °F, aproximadamente 2350 °F o aproximadamente 2400 °F. En algunas modalidades, se puede establecer un tiempo de inmersión que comience después de que se alcance una temperatura máxima de la corona u otra temperatura máxima. De manera alternativa, se puede establecer un tiempo de reposo que comience después de que la temperatura del conducto de la suela o la temperatura de la corona comiencen a disminuir sin ningún flujo de gas. Además, el tiempo de reposo se puede reducir debido al mayor tiempo de coquización de una duración de la pirólisis, en donde el tiempo de reposo puede ser menor que 10,0 horas, menor que 5,0 horas o incluso menor que 1,0 hora. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden usar varios tiempos de ciclo totales, y pueden caracterizar una operación basada en una proporción de un tiempo de reposo respecto a una duración de la pirólisis, en donde la proporción puede ser menor que 33,0 %, menor que 15,0 %, menor que 5,0 %, o menor que algún otro umbral que sea menor que 50 %.

[0112] De manera similar, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque mediante el uso de operaciones descritas en esta descripción que tienen una ST que está dentro de un intervalo indicado, tal como entre 2150 °F y 2500 °F. Algunas modalidades pueden implementar operaciones que satisfagan un intervalo más estricto para una ST, tal como modificar operaciones para producir productos de coque que tengan una ST entre 2150 °F y 2300 °F. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden cambiar las mezclas de carbón, los tiempos de reposo o las duraciones en diferentes posiciones de las compuertas para satisfacer una ST objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden seleccionar una mezcla de carbón o determinar las operaciones del horno en función de un valor de ST objetivo de aproximadamente 2100 °F, aproximadamente 2150 °F, aproximadamente 2200 °F, aproximadamente 2250 °F, aproximadamente 2300 °F, aproximadamente 2350 °F, aproximadamente 2400 °F, aproximadamente 2450 °F o aproximadamente 2500 °F. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden establecer un valor de IDT objetivo en función de un valor de ST

objetivo.

[0113] De manera similar, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque mediante el uso de operaciones descritas en esta descripción que tienen una HT que está dentro de un intervalo indicado, tal como entre 2200 °F y 2350 °F. Algunas modalidades pueden implementar operaciones que satisfagan un intervalo más estricto para una HT, tal como modificar operaciones para producir productos de coque que tengan una HT entre 2150 °F y 2300 °F. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden cambiar las mezclas de carbón, los tiempos de reposo o las duraciones en diferentes posiciones de las compuertas para satisfacer una HT objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden seleccionar una mezcla de carbón o determinar las operaciones del horno en función de un valor de HT objetivo de aproximadamente 2200 °F, aproximadamente 2250 °F, aproximadamente 2300 °F, aproximadamente 2350 °F, aproximadamente 2400 °F, aproximadamente 2450 °F o aproximadamente 2500 °F.

[0114] De manera similar, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque mediante el uso de operaciones descritas en esta descripción que tienen una FT que está dentro de un intervalo indicado, tal como una FT entre 2250 °F y 2600 °F. Algunas modalidades pueden implementar operaciones que satisfagan un intervalo más estricto para una FT, tal como modificar operaciones para producir productos de coque que tengan una FT entre 2250 °F y 2400 °F. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden cambiar las mezclas de carbón, los tiempos de reposo o las duraciones en diferentes posiciones de las compuertas para satisfacer una FT objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden seleccionar una mezcla de carbón o determinar las operaciones del horno en función de un valor de FT objetivo de aproximadamente 2250 °F, aproximadamente 2300 °F, aproximadamente 2350 °F, aproximadamente 2400 °F, aproximadamente 2450 °F, aproximadamente 2500 °F, aproximadamente 2550 °F o aproximadamente 2600 °F.

[0115] Algunas modalidades pueden producir productos de coque que satisfacen múltiples intervalos objetivo para diferentes tipos de valores de AFT. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden incluir un producto de coque que tiene una IDT entre 2100 °F y 2250 °F, una ST entre 2150 °F y 2300 °F, una HT entre 2200 °F y 2350 °F, o una FT entre 2250 °F y 2400 °F. De manera alternativa o adicional, son posibles varias otras combinaciones

de intervalos objetivo para un producto de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden incluir un producto de coque que tiene una IDT entre 2100 °F y 2250 °F, una ST entre 2150 °F y 2300 °F, una HT entre 2200 °F y 2350 °F, y una FT entre 2250 °F y 2400 °F.

5 **[0116]** Algunas modalidades pueden generar productos de coque que tienen AFT que están dentro de varios límites de composición para satisfacer un valor de AFT. Por ejemplo, algunas modalidades producen productos de coque que tienen una AFT mayor que 2300 °F o menor que 2600 °F. Algunas modalidades pueden incluir tolerancias más estrictas para la producción o selección de productos de coque para uso posterior, tal como entre 1800 °F y 2600 °F, entre 10 2200 °F y 2500 °F, entre 2300 °F y 2400 °F, entre 2400 °F y 2600 °F, o entre 2500 °F y 2600 °F.

[0117] Algunas modalidades pueden utilizar las operaciones descritas en la presente descripción para producir un producto de coque caracterizado por tipos específicos de valores de AFT. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque que tiene una ST de AFT entre 982 °C (1800 °F) y 1427 °C (2600 °F), 15 1177 °C (2150 °F) y 1371 °C (2500 °F) o un producto de coque que tiene una HT de AFT entre 1204 °C (2200 °F) y 1371 °C (2500 °F), o una temperatura de flujo (FT) de AFT entre 1232 °C (2250 °F) y 1371 °C (2500 °F).

[0118] Tal como se muestra en la tabla 1250, el valor de CRI de los productos de coque de fundición puede ser de 36,5 % u otro valor mayor que 35 %. Algunas modalidades pueden 20 implementar operaciones de producción de coque que producen lotes de coque de fundición que satisfacen uno o más umbrales de CRI. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden cambiar las duraciones entre cambios en las configuraciones de las compuertas o seleccionar entre diferentes posiciones de las compuertas en función de un umbral de CRI. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir 25 fundición que tenga un CRI de al menos 25,0 %, al menos 30,0 %, al menos 35,0 %, al menos 40,0 %, al menos 45,0 %, u otro valor que sea al menos 30,0 %. Algunas modalidades pueden realizar operaciones para seleccionar productos de coque que tengan un CRI mayor que un umbral mínimo de CRI para uso posterior. En algunas modalidades, un CRI para un producto de coque puede indicar una pérdida de masa de una reacción, en donde un CRI mayor para un 30 producto de coque puede indicar una mayor eficiencia o utilidad del producto de coque. En algunas modalidades, el CRI puede calcularse mediante el uso de un modelo basado en

propiedades conocidas de un producto de coque o de la mezcla de carbón utilizada para generar el producto de coque. De manera alternativa o adicional, se puede obtener experimentalmente un CRI como una pérdida de peso medida mediante el uso de un protocolo de prueba establecido. Por ejemplo, algunas modalidades pueden usar un método de medición de CRI tal como el método ASTM D5341 para determinar un valor de CRI.

[0119] Tal como se muestra en la tabla 1250, el valor de CSR de los productos de coque de fundición puede ser de 26 %, 15,6 % u otro valor mayor que un umbral de CSR tal como 7,0 %. Algunas modalidades pueden implementar operaciones de producción de coque que producen lotes de coque de fundición que satisfacen uno o más umbrales de CSR. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden cambiar las duraciones entre los cambios en las configuraciones de la compuerta o seleccionar entre diferentes posiciones de la compuerta en función de satisfacer un umbral de CSR objetivo, tal como un umbral de CSR que requiere que el coque de fundición tenga una CSR menor o igual a 40,0 %, menor o igual a 35,0 %, menor o igual a 30,0 %, menor o igual a 25,0 %, menor o igual a 20,0 %, menor o igual a 15,0 %, menor o igual a 10,0 %, o menor o igual a 7,0 %.

[0120] Tal como se muestra en la tabla 1250, una composición de SiO_2 en cenizas de producto de coque puede incluir 49,4 %, 48,9 %, 48,8 %, 49,1 % o 46,0 %. Otras modalidades pueden incluir otras fracciones en masa de SiO_2 en cenizas, tales como otros valores menores que 70 %, menores que 50,0 %, menores que 45,0 %, etc. En algunas modalidades, una fracción en masa de aproximadamente 50,0 % de SiO_2 en las cenizas del producto de coque puede corresponderse con una pequeña cantidad de SiO_2 en el propio producto de coque.

[0121] Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar productos de coque que tienen un contenido de carbono fijo (por ejemplo, una fracción en masa de carbono fijo) que es mayor o igual a un umbral de carbono fijo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque de fundición que tienen una fracción en masa de carbono fijo mayor que 80,0 %, 85,0 %, 90,0 %, 90,5 %, 91,0 % o algún otro valor. En algunas modalidades, el contenido de carbono fijo puede ser un intervalo objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar un conjunto de operaciones para generar productos de coque que tienen un contenido de carbono fijo menor o igual al 94,5 %, pero mayor o igual a 85,0 % (aunque otros intervalos de valores son posibles) tal como entre 94,5 % y 85,0 %. Son posibles otros intervalos objetivo, tal como productos de

coque con un intervalo entre 90,0 % y 95,0 %, 85 % y 99 %, etc.

[0122] Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden generar productos de coque que tienen una fracción en masa de cenizas dentro de un intervalo objetivo limitado o ilimitado. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque de fundición que tienen una fracción en masa de cenizas mayor o igual a 1,0 %, 5,0 %, 8,0 %, 9,0 %, 10,0 % o un valor mayor que 10,0 %. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden incluir un límite superior a una fracción en masa de ceniza. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque de fundición que tienen una fracción en masa de cenizas menor que 1,0 %, 5,0 %, 9,0 %, 10,0 % o un valor mayor que 10,0 %. Algunas modalidades pueden combinar estos límites superior e inferior de fracciones en masa de ceniza de modo que un producto de coque producido tenga un intervalo de 5,0 % a 10,0 %, 8,5 % a 9,0 %, 8,0 % a 10,0 %, 5,0 % a 15,0 %, etc.

[0123] La FIGURA 13 es un gráfico que indica el rendimiento del producto de coque de fundición de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Tal como se muestra en la tabla 1300, el rendimiento de fundición para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón, mediante el uso de las operaciones descritas en esta descripción, puede variar. Tal como se muestra mediante el intervalo 1302, el rendimiento puede variar entre aproximadamente 40 % y 60 % en algunas modalidades, donde este rendimiento puede ser un rendimiento en seco (es decir, la fracción en masa seca del producto de coque de fundición puede ser 40 % o 60 % de la fracción en masa seca de la población total de productos de coque). Tal como se muestra mediante el punto de datos 1353, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado un rendimiento de aproximadamente 57 %, si bien el rendimiento puede ser menor en otros casos. Por ejemplo, tal como lo muestra el punto de datos 1351, el rendimiento en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, por ejemplo, tan bajo como 41 %. En muchos casos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que satisfacen un umbral de rendimiento mínimo, tales como operaciones que dan como resultado un rendimiento de al menos 25 %, al menos 30 %, al menos 40 %, al menos 50 %, al menos 60 %, etc. Si bien algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones de optimización del controlador para aumentar el rendimiento, algunas

modalidades de la presente tecnología pueden permitir que un rendimiento previsto sea menor que un rendimiento máximo esperado para satisfacer otros parámetros objetivo del producto de coque.

[0124] La FIGURA 14 es un gráfico que indica el tamaño de las partículas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Tal como se muestra en la tabla 1400, las longitudes de lote medias en pulgadas para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón, mediante el uso de las operaciones descritas en esta descripción, pueden variar. Tal como se muestra mediante un intervalo 1402, la longitud media del producto de coque puede variar entre aproximadamente 5,5 pulgadas y aproximadamente 7,5 pulgadas en algunas modalidades. Tal como se muestra mediante un punto de datos 1453, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una longitud media del producto de coque de aproximadamente 7,4 pulgadas, si bien la longitud media del producto de coque puede ser menor en otros casos. Por ejemplo, tal como se muestra mediante un punto de datos 1451, la longitud media del producto de coque en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, tal como tan baja como 5,5 pulgadas. En muchos casos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que satisfacen un umbral mínimo de longitud media del producto de coque, tales como operaciones que dan como resultado una longitud media del producto de coque de al menos 2,5 pulgadas, 4,0 pulgadas, 5,0 pulgadas, 6,0 pulgadas, 7,0 pulgadas, 8,0 pulgadas, 9,0 pulgadas o alguna otra longitud. En algunas modalidades, un producto de coque más grande puede dar como resultado operaciones de fundición más eficientes. Si bien algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones de optimización del controlador para aumentar la longitud media del producto de coque, algunas modalidades de la presente tecnología pueden permitir que la longitud media prevista del producto de coque sea menor que una longitud media máxima esperada del producto de coque para satisfacer otros parámetros objetivo del producto de coque.

[0125] La FIGURA 15 es un gráfico que indica las propiedades resistencia al impacto por caída de 4 pulgadas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Tal como se muestra en la tabla 1500, las tasas de supervivencia al impacto por caída de 4 pulgadas para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón, mediante el uso de las operaciones descritas en esta descripción, pueden variar. Tal como se muestra

mediante un intervalo 1502, la tasa de supervivencia al impacto por caída de 4 pulgadas puede variar entre aproximadamente 80 % a aproximadamente 95 % en algunas modalidades. Tal como se muestra mediante un punto de datos 1553, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una tasa de supervivencia al impacto por caída de 4 pulgadas que es aproximadamente 93 %, si bien la tasa de supervivencia al impacto por caída de 4 pulgadas puede ser menor en otros casos. Por ejemplo, tal como se muestra mediante un punto de datos 1551, la tasa de supervivencia al impacto por caída de 4 pulgadas en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, tal como tan baja como 81 %. En muchos casos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que satisfacen un umbral mínimo de la tasa de supervivencia al impacto por caída de 4 pulgadas, tales como operaciones que dan como resultado una tasa de supervivencia al impacto por caída de 4 pulgadas de al menos 80 %, al menos 85 %, al menos 90 %, o al menos 95 %, o al menos algún otro umbral de resistencia al impacto por caída de 4 pulgadas. En muchos casos, una mayor tasa de supervivencia al impacto por caída es útil para las operaciones de fundición posteriores porque más productos de coque sobreviven al transporte y al procesamiento posterior.

[0126] La FIGURA 16 es un gráfico que indica las propiedades resistencia al impacto por caída de 6 pulgadas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Tal como se muestra en la tabla 1600, las tasas de supervivencia al impacto por caída de 6 pulgadas para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón, mediante el uso de las operaciones descritas en esta descripción, pueden variar. Tal como se muestra mediante un intervalo 1602, la tasa de supervivencia al impacto por caída de 6 pulgadas puede variar entre aproximadamente 30 % a aproximadamente 80 % en algunas modalidades. Tal como se muestra mediante un punto de datos 1653, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una tasa de supervivencia al impacto por caída de 6 pulgadas que es aproximadamente 80 %, si bien la tasa de supervivencia al impacto por caída de 6 pulgadas puede ser menor en otros casos. Por ejemplo, tal como se muestra mediante un punto de datos 1651, la tasa de supervivencia al impacto por caída de 6 pulgadas en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, tal como tan baja como 30 %. En muchos casos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que satisfacen un umbral mínimo de la tasa de supervivencia al impacto por caída de 6 pulgadas,

tales como operaciones que dan como resultado una tasa de supervivencia al impacto por caída de 6 pulgadas de al menos 60 %, al menos 70 %, al menos 80 %, o al menos algún otro umbral de resistencia al impacto por caída de 6 pulgadas, en donde el umbral de resistencia al impacto por caída de 6 pulgadas puede ser menor que un umbral de resistencia al impacto por caída de 4 pulgadas.

[0127] La FIGURA 17 es un gráfico que indica una fracción en masa de cenizas, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Tal como se muestra en la tabla 1700, las fracciones en masa de ceniza para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón, mediante el uso de las operaciones descritas en esta descripción, pueden variar. Tal como se muestra mediante un intervalo 1702, la fracción en masa de cenizas puede variar entre aproximadamente 7 % a aproximadamente 10 % en algunas modalidades. Tal como se muestra mediante un punto de datos 1753, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una fracción en masa de cenizas de aproximadamente 9,7 %, si bien la fracción en masa de cenizas puede ser menor en otros casos. Por ejemplo, tal como se muestra mediante un punto de datos 1754, la fracción en masa de cenizas en algunas operaciones de producción de coque puede ser de 8,8 %. De manera adicional o alternativa, tal como se muestra mediante el punto de datos 1751, la fracción en masa de cenizas en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, tal como tan baja como 7,2 %.

[0128] En algunas modalidades, un contenido de cenizas de un producto de coque producido mediante el uso de operaciones descritas en la presente descripción puede ser menor que un umbral de fracción en masa de cenizas, donde el umbral de fracción en masa de cenizas puede ser de 10,0 %, 9,0 %, 8,5 %, 8,0 %, 7,5 % u otro valor menor que 50,0 %. En algunas modalidades, la fracción en masa de cenizas puede ser no convencionalmente alta, tal como mayor que 10,0 %. De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque que tiene un umbral de fracción en masa de cenizas que satisface un umbral de fracción en masa de cenizas menor que 10,0 %, menor que 9,0 %, menor que 8,5 %, menor que 8,0 %, menor que 7,5 % o menor que 7,0 %. Algunas modalidades pueden incluir cenizas dentro de un intervalo, tal como entre 5,5 % y 7,0 %, 6,0 % y 6,5 %, entre 8,0 % y 10,0 %, o entre algunos otros valores. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un conjunto de productos de coque que satisfacen un

valor de fracción en masa objetivo. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque que tiene una fracción en masa de cenizas que satisface una fracción en masa de cenizas objetivo, donde la fracción en masa de cenizas objetivo puede ser de aproximadamente 9,0 %, aproximadamente 8,5 %, aproximadamente 8,0 %, aproximadamente 7,5 % o aproximadamente 7,0 %.

[0129] En algunas modalidades, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que producen productos de coque que satisfacen un umbral mínimo de fracción en masa de cenizas, tal como productos de coque que tienen una fracción en masa de cenizas de al menos 7,0 %, al menos 8,0 %, al menos 9,0 %, o al menos alguna otra fracción en masa de cenizas. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar formulaciones de mezclas de carbón o realizar operaciones de hornos de coque que tienen una fracción en masa de cenizas dentro de un intervalo predefinido, tal como entre 7,0 % y 10,0 %.

[0130] La FIGURA 18 es un gráfico que indica una fracción en masa de humedad, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Tal como se muestra en la tabla 1800, la humedad del producto de coque para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón, mediante el uso de las operaciones descritas en esta descripción, puede variar. Tal como se muestra mediante un intervalo 1802, las fracciones en masa de humedad del producto de coque pueden variar entre aproximadamente 0 % a aproximadamente 15 % en algunas modalidades. Tal como se muestra mediante el punto de datos 1853, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una fracción en masa de humedad del producto de coque de aproximadamente 15 %, si bien la humedad del producto de coque puede ser menor en otros casos. Además, tal como lo muestra el punto de datos 1851, la fracción en masa de humedad del producto de coque en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, por ejemplo, tan baja como 0,5 %. En muchos casos, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones que satisfacen un umbral mínimo de la fracción en masa de humedad del producto de coque, tales como operaciones que dan como resultado una fracción en masa de humedad del producto de coque de al menos 7,0 %, al menos 8,0 %, al menos 9,0 %, o al menos alguna otra fracción en masa de humedad del producto de coque. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar formulaciones de mezclas de carbón o realizar operaciones de

hornos de coque que tienen una fracción en masa de humedad del producto de coque dentro de un intervalo predefinido, tal como entre 7,0 % y 10,0 %. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden determinar formulaciones de mezcla de carbón o realizar operaciones de horno de coque que tienen una fracción en masa de humedad del producto de coque menor que un valor predefinido, tal como menor o igual a 10,0 %, menor o igual a 8,0 %, menor o igual a 7,0 %, menor o igual a 5,0 %, etc.

[0131] La FIGURA 19 es un gráfico que indica una fracción en masa de azufre, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. Tal como se muestra en la tabla 1900, las fracciones en masa de azufre para diferentes lotes de productos de coque producidos a partir de una mezcla de carbón, mediante el uso de las operaciones descritas en esta descripción, pueden variar. Tal como se muestra en un intervalo 1902, las fracciones en masa de azufre pueden variar entre aproximadamente 0,60 % a aproximadamente 0,75 % en algunas modalidades. Tal como se muestra mediante el punto de datos 1953, algunas modalidades realizan operaciones que dan como resultado una fracción en masa de azufre de aproximadamente 0,73 %, si bien la fracción en masa de azufre puede ser menor en otros casos. Además, tal como lo muestra el punto de datos 1951, la fracción en masa de azufre en algunas operaciones de producción de coque puede ser menor, por ejemplo, tan baja como 0,63 %.

[0132] En algunas modalidades, el contenido de azufre del producto de coque puede ser menor que un umbral de fracción en masa de azufre. Por ejemplo, el contenido de azufre de un producto de coque puede ser menor que 1,0 %, menor que 0,9 %, menor que 0,8 %, menor que 0,7 %, menor que 0,6 %, menor que 0,5 %, menor que 0,3 %, menor que 0,2 % o menor que 0,1 %. Algunas modalidades determinan la formulación de una mezcla de carbón, determinan un tiempo de reposo o determinan un programa de control de la compuerta para reducir la cantidad de azufre en un producto de coque. Además, se puede producir un producto de coque en función de un valor del contenido de azufre objetivo, tal como una fracción en masa de azufre objetivo de 0,65 %. Tal como se describe en otra parte, al reducir el contenido de azufre de los productos de coque, algunas modalidades de la presente tecnología pueden mejorar la eficiencia de las operaciones de fundición.

[0133] La FIGURA 20 es un gráfico que representa fracciones en masa de SiO_2 frente a fracciones en masa de Al_2O_3 en las cenizas de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. En algunas modalidades, un producto

de coque se puede caracterizar en función de sus fracciones en masa de SiO_2 y Al_2O_3 o proporciones de estas fracciones en masa. Tal como se muestra en el gráfico 2000, diferentes muestras de cenizas de coque pueden indicar diferentes fracciones en masa o proporciones de fracciones en masa de SiO_2 y Al_2O_3 . Por ejemplo, el punto 2050 indica una muestra que tiene una fracción en masa de SiO_2 de aproximadamente 48,0 % y una fracción en masa de Al_2O_3 de aproximadamente 24,3 %, lo que sugiere que algunas cenizas de productos de coque pueden tener una proporción de aproximadamente 2:1 para una proporción de fracción en masa de SiO_2 respecto a Al_2O_3 . Tal como lo indica el intervalo 2001, las fracciones en masa de SiO_2 de diferentes muestras pueden variar entre 48,0 % y 51,0 %, en algunas modalidades. Además, tal como lo indica el intervalo 2002, las fracciones en masa de SiO_2 de diferentes muestras pueden variar entre 24,3 % y 28,4 %, en algunas modalidades.

[0134] Algunas modalidades pueden producir un producto de coque que minimice la combinación de Al_2O_3 y SiO_2 o que tenga una cantidad baja de Al_2O_3 y SiO_2 . Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar operaciones que producen productos de coque, de modo que las cenizas de los productos de coque tengan una fracción en masa combinada de Al_2O_3 y una fracción en masa de SiO_2 menor o igual a 65 %. Al reducir la cantidad de Al y Si en un producto de coque, algunas modalidades de la presente tecnología pueden aumentar la eficiencia de las operaciones de fundición al reducir su interferencia con la disolución del carbono durante las operaciones de fundición.

[0135] Algunas modalidades pueden producir un producto de coque o una mezcla de carbón utilizada para producir la mezcla de carbón que satisface otros umbrales para Al_2O_3 o SiO_2 . Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque, de modo que una fracción en masa de Al_2O_3 de las cenizas del producto de coque, o una ceniza de una mezcla de carbón utilizada para crear el producto de coque, sea menor que o aproximadamente 30 %, menor que o aproximadamente 25 %, o menor que o aproximadamente 20 %. De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque de modo que una fracción en masa de SiO_2 de las cenizas del producto de coque o una ceniza de una mezcla de carbón utilizada para crear el producto de coque sea menor que o aproximadamente 50 %, menor que o aproximadamente 45 %, menor que o aproximadamente 40 %, o menor que o aproximadamente 35 %.

[0136] De manera alternativa o adicional, algunas modalidades de la presente tecnología

pueden producir un producto de coque de modo que la suma de una fracción en masa de SiO_2 y una fracción en masa de Al_2O_3 de una ceniza del producto de coque o una ceniza de una mezcla de carbón utilizada para crear el producto de coque sea menor que o aproximadamente 80 %, menor que o aproximadamente 75 %, menor que o aproximadamente 70 %, menor que o aproximadamente 65 %.

[0137] La FIGURA 21 es un gráfico que representa fracciones en masa de Fe_2O_3 frente a fracciones en masa de CaO en las cenizas de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. En algunas modalidades, un producto de coque se puede caracterizar en función de sus fracciones en masa de Fe_2O_3 y CaO o proporciones de estas fracciones en masa. Tal como se muestra en la tabla 2100, diferentes puntos de datos que representan muestras de ceniza de coque pueden indicar diferentes fracciones en masa y proporciones de fracciones en masa de Fe_2O_3 y CaO . Por ejemplo, el punto 2151 indica una muestra que tiene una fracción en masa de Fe_2O_3 de aproximadamente 12,1 % y una fracción en masa de CaO de aproximadamente 2,4 %. Además, el punto 2152 indica una muestra que tiene una fracción en masa de Fe_2O_3 de aproximadamente 15,0 % y una fracción en masa de CaO de aproximadamente 2,8 %. Además, el punto 2153 indica una muestra que tiene una fracción en masa de Fe_2O_3 de aproximadamente 12,0 % y una fracción en masa de CaO de aproximadamente 4,5 %. Colectivamente, los puntos 2151 indican que las proporciones de fracciones en masa de Fe_2O_3 y CaO para algunas muestras pueden variar entre aproximadamente 5:1 y aproximadamente 5:2, en algunas modalidades. Además, tal como lo indica el intervalo 2101, las fracciones en masa de Fe_2O_3 de diferentes muestras pueden variar entre 11,0 % y 15,0 %, en algunas modalidades. Además, tal como lo indica el intervalo 2102, las fracciones en masa de Fe_2O_3 de CaO pueden variar entre 2,5 % y 4,5 %, en algunas modalidades.

[0138] Algunas modalidades pueden producir un producto de coque mediante el uso de operaciones para aumentar la cantidad de CaO en un producto de coque. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar operaciones que producen productos de coque de modo que la ceniza de los productos de coque tenga una fracción en masa de CaO mayor o igual a 3,0 %. De manera alternativa o adicional, pueden usarse otros umbrales máximos de CaO . Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir productos de coque de modo que la ceniza de los productos de coque tenga una fracción en

masa de CaO mayor o igual a 10,0 %, mayor o igual a 9,0 %, mayor o igual a 8,0 %, mayor o igual a 7,0 %, mayor o igual a 6,0 %, mayor o igual a 5,0 %, mayor o igual a 4,0 %, mayor o igual a 3,0 %, mayor o igual a 2,0 %, mayor o igual a 1,0 %, etc. Algunas modalidades pueden crear un producto de coque a partir de una mezcla de carbón que tiene un alto contenido de CaO, donde este contenido puede determinarse mediante una composición de cenizas. Un contenido tan alto de CaO puede aumentar la tasa de disolución de carbono del producto de coque.

[0139] La FIGURA 22 es un gráfico que muestra las temperaturas de ablandamiento de cenizas frente a las temperaturas de fusión de cenizas modeladas de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. En algunas modalidades, un producto de coque se puede caracterizar en función de sus valores de ST de cenizas, valores del modelo de AFT, o proporciones de estos dos valores. Tal como se muestra en el gráfico 2200, diferentes muestras de cenizas de coque pueden tener diferentes valores de ST y modelo de AFT. Por ejemplo, el punto 2251 indica una muestra que tiene un valor de ST de ceniza igual a aproximadamente 2300 °F y un valor del modelo de AFT igual a aproximadamente 2460 °F. Además, el punto 2252 indica una muestra que tiene un valor de ST de ceniza igual a aproximadamente 2550 °F y un valor del modelo de AFT igual a aproximadamente 2580 °F. Además, tal como lo indica un intervalo 2201, el valor de ST de cenizas de diferentes muestras puede variar entre 2300 °F y 2600 °F, en algunas modalidades. Además, tal como lo indica un intervalo 2202, los valores del modelo de AFT de algunas muestras pueden variar entre 2450 °F y 2600 °F, en algunas modalidades.

[0140] La FIGURA 23 es un gráfico que muestra las temperaturas de ablandamiento de cenizas frente a fracciones en masa de cenizas de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. En algunas modalidades, un producto de coque se puede caracterizar en función de sus fracciones en masa de cenizas o valores de ST de ceniza observados. Tal como se muestra en la tabla 2300, diferentes muestras de ceniza de coque pueden indicar diferentes fracciones en masa de cenizas y ST observadas para las diferentes muestras de ceniza. Por ejemplo, el punto 2351 indica una muestra que tiene un valor de ST igual a aproximadamente 2350 °F y una fracción en masa de cenizas de aproximadamente 7,8 %. Además, el punto 2152 indica una muestra que tiene un valor de ST igual a aproximadamente 2560 °F y una fracción en masa de cenizas de aproximadamente

8,1 %. Además, el punto 2153 indica una muestra que tiene un valor de ST igual a aproximadamente 2500 °F y una fracción en masa de cenizas de aproximadamente 8,8 %. Algunas modalidades pueden producir productos de coque que tienen menor contenido de cenizas y menor AFT que los productos de coque que usan mezclas de carbón convencionales u operaciones convencionales. Al reducir la ceniza de un producto de coque disponible para acumularse en una superficie de coque, algunas modalidades de la presente tecnología pueden mejorar de ese modo una tasa de disolución de carbono durante una operación de fundición. De manera similar, al reducir la temperatura de fusión de las cenizas de un producto de coque, algunas modalidades de la presente tecnología pueden mejorar la tasa de disolución de las cenizas al reducir la temperatura requerida para las cenizas de una superficie de coque durante una operación de fundición.

[0141] En algunas modalidades, tal como lo indica el intervalo 2301, los valores de contenido de cenizas de diferentes muestras pueden variar entre 2300 °F y 2560 °F. Además, tal como lo indica el intervalo 2302, el contenido de cenizas puede variar entre aproximadamente 7,8 % a 8,8 %. Tal como se muestra en la tabla 2300, algunas modalidades de la presente tecnología pueden producir un producto de coque que tiene una fracción en masa de cenizas menor que 10,0 %, menor que 9,0 % o menor que otro umbral máximo de fracción en masa de cenizas. Además, algunas modalidades de la presente tecnología pueden realizar operaciones para mantener una cantidad mínima de producto de ceniza. Por ejemplo, algunas modalidades de la presente tecnología pueden implementar operaciones de horno de coque para producir productos de coque que tengan al menos 1,0 % de ceniza, 5,0 % de ceniza, 7,0 % de ceniza, etc.

[0142] La FIGURA 24 es un gráfico que representa las temperaturas de fusión de cenizas observadas frente a las temperaturas de fusión de cenizas modeladas de diferentes lotes de productos de coque de fundición, de acuerdo con una o más modalidades de la presente tecnología. El gráfico 2400 incluye un primer intervalo 2401, que indica el intervalo de valores de AFT observados que varían de aproximadamente 1990 °F a aproximadamente 2800 °F. El gráfico 2400 incluye un segundo intervalo, que indica el intervalo de valores del modelo de AFT que varían entre 1900 °F y 2750 °F. Tal como se muestra en el gráfico 2400, los productos de coque pueden mostrar una correlación directa aproximada entre los valores del modelo de AFT y los valores de AFT observados.

[0143] De lo anterior, se apreciará que, si bien en la presente se han descrito modalidades específicas de la tecnología con fines ilustrativos, se pueden realizar diversas modificaciones sin desviarse del espíritu y el alcance de la tecnología. Además, ciertos aspectos de la nueva tecnología descrita en el contexto de modalidades particulares pueden combinarse o eliminarse en otras modalidades. Además, si bien las ventajas asociadas con ciertas modalidades de la tecnología se han descrito en el contexto de esas modalidades, otras modalidades también pueden presentar dichas ventajas, y no todas las modalidades necesariamente deben presentar dichas ventajas para incluirse dentro del alcance de la tecnología. Por consiguiente, la descripción y la tecnología asociada pueden abarcar otras modalidades que no se muestran o se describen expresamente en la presente. Por lo tanto, la descripción no está limitada excepto por las reivindicaciones adjuntas.

V. Conclusión

[0144] Será evidente para los expertos en la técnica que pueden realizarse cambios en los detalles de las modalidades descritas anteriormente sin apartarse de los principios subyacentes de la presente descripción. En algunos casos, las estructuras y funciones bien conocidas no se han mostrado ni descrito en detalle para evitar dificultar innecesariamente la descripción de las modalidades de la presente tecnología. Si bien los pasos de los métodos pueden presentarse en la presente en un orden particular, modalidades alternativas pueden realizar los pasos en un orden diferente. De manera similar, ciertos aspectos de la presente tecnología descrita en el contexto de modalidades particulares pueden combinarse o eliminarse en otras modalidades. Además, si bien las ventajas asociadas con ciertas modalidades de la presente tecnología se han podido describir en el contexto de esas modalidades, otras modalidades también pueden presentar dichas ventajas u otras ventajas descritas en la presente, y no todas las modalidades necesariamente deben presentar dichas ventajas para incluirse dentro del alcance de la tecnología. Por consiguiente, la descripción y la tecnología asociada pueden abarcar otras modalidades que no se muestran o se describen expresamente en la presente, y la invención no está limitada excepto por las reivindicaciones adjuntas.

[0145] La referencia en la presente a «una modalidad», «algunas modalidades», o formulaciones similares, significa que un elemento, una estructura, una operación o una característica particular descrita en relación con la modalidad puede incluirse en al menos una modalidad de la presente tecnología. Por lo tanto, las apariciones de dichas expresiones o

formulaciones en la presente no necesariamente se refieren todas a la misma modalidad. Además, varios elementos, estructuras, operaciones o características particulares se pueden combinar de cualquier manera adecuada en una o más modalidades.

5 **[0146]** A menos que se indique de otro modo, se entenderá que todas las cifras que expresan porcentajes en peso, concentraciones, composiciones y otros valores numéricos, utilizados en la memoria descriptiva y las reivindicaciones, se encuentran modificados en todos los casos por el término «aproximadamente». Por consiguiente, a menos que se indique de otro modo, los parámetros numéricos que se indican en la siguiente memoria descriptiva y las reivindicaciones adjuntas son aproximaciones que pueden variar de acuerdo con las propiedades deseadas que se busque obtener con la presente tecnología. Tal como se usa en esta descripción, a menos que se describa de otro modo, se puede considerar que un valor es aproximadamente un valor objetivo si una diferencia entre el valor y el valor objetivo es menor o igual a 10 % del valor objetivo. Como mínimo, y no como un intento de limitar la aplicación de la doctrina de equivalentes al alcance de las reivindicaciones, cada parámetro numérico debería al menos
10 se busque obtener con la presente tecnología. Tal como se usa en esta descripción, a menos que se describa de otro modo, se puede considerar que un valor es aproximadamente un valor objetivo si una diferencia entre el valor y el valor objetivo es menor o igual a 10 % del valor objetivo. Como mínimo, y no como un intento de limitar la aplicación de la doctrina de equivalentes al alcance de las reivindicaciones, cada parámetro numérico debería al menos interpretarse a la luz del número de dígitos significativos informados y aplicando técnicas ordinarias de redondeo. Además, se entenderá que todos los intervalos descritos en la presente abarcan todos y cada uno de los subintervalos incluidos en estos. Por ejemplo, un intervalo de «1 a 10» incluye todos y cada uno de los subintervalos entre (inclusive) el valor mínimo de 1 y el valor máximo de 10 (es decir, todos y cada uno de los subintervalos que tienen un valor
15 mínimo igual o mayor que 1 y un valor máximo igual o menor que 10, por ejemplo, de 5,5 a 10).

20 **[0147]** Si bien la presente invención se ha descrito detalladamente con fines ilustrativos en función de lo que actualmente se consideran las modalidades más prácticas y preferidas, se entenderá que dicha descripción detallada es únicamente para ese fin, y que la invención no se limita a las modalidades descritas, sino que, por el contrario, se pretende que cubra modificaciones y disposiciones equivalentes que están dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, se entenderá que la presente invención contempla que, en la medida de lo posible, una o más características de cualquier modalidad pueden combinarse con una o más características de cualquier otra modalidad.

25 **[0148]** Tal como se usa en esta solicitud, la palabra «puede/n» se usa en un sentido permisivo (es decir, que significa tener el potencial para), en lugar del sentido obligatorio (es decir, que significa debe). Las palabras «comprende», «que comprende», «incluye», «que incluye»,
30

«incluso», y similares, significan incluir, de modo no taxativo. Tal como se usa en esta memoria descriptiva, las formas singulares de «un», «una» y «el/la» incluyen los referentes plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Por lo tanto, por ejemplo, la referencia a «un elemento» incluye una combinación de dos o más elementos, sin perjuicio del uso de otros términos y expresiones para uno o más elementos, tales como «uno o más».

[0149] Otros aspectos, características y ventajas serán evidentes a lo largo de la descripción detallada de esta descripción y las figuras adjuntas a esta. También se entenderá que la descripción de esta descripción son ejemplos y no restringen el alcance de la invención. Tal como se usan en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones, las formas en singular «uno», «una», «el/la» incluyen los referentes en plural, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Además, tal como se usa en la memoria descriptiva, «una porción» se refiere a una parte o la totalidad (es decir, la porción completa) de un elemento dado (por ejemplo, datos), a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Además, un «conjunto» puede hacer referencia a una forma singular o una forma plural, de modo que un «conjunto de artículos» puede hacer referencia a un artículo o múltiples artículos.

[0150] El término «o» no es exclusivo (es decir, abarca tanto «y» como «o»), a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Los términos que describen relaciones condicionales (por ejemplo, «en respuesta a X, Y», «tras X, Y», «si X, Y», «cuando X, Y», y similares) abarcan relaciones causales en las que el antecedente es una condición causal necesaria, el antecedente es una condición causal suficiente, o el antecedente es una condición causal contributiva del consecuente (por ejemplo, «el estado X ocurre tras obtener la condición Y» es genérico para «X ocurre únicamente tras Y» y «X ocurre tras Y y Z»). Dichas relaciones condicionales no se limitan a las consecuencias que siguen instantáneamente a la obtención del antecedente, ya que algunas consecuencias pueden retrasarse y, en los enunciados condicionales, los antecedentes están conectados con sus consecuentes (por ejemplo, el antecedente es relevante para la probabilidad de que ocurra el consecuente). Los enunciados en los que se asignan múltiples atributos o funciones a múltiples objetos (por ejemplo, uno o más procesadores que realizan los pasos/operaciones A, B, C y D) abarcan todos esos atributos o funciones que se asignan a todos esos objetos y los subconjuntos de los atributos o funciones que se asignan a subconjuntos de los objetos (por ejemplo, todos los procesadores realizan cada uno de los pasos/operaciones A-D, y un caso donde el procesador 1 realiza el

paso/operación A, el procesador 2 realiza el paso/operación B y parte del paso/operación C, y el procesador 3 realiza parte del paso/operación C y del paso/operación D), a menos que se indique de otro modo. Además, a menos que se indique de otro modo, los enunciados de que un valor o acción «se basa en» otra condición o valor abarcan casos en los que la condición o valor es el único factor y casos en los que la condición o valor es un factor entre múltiples factores.

[0151] A menos que el contexto indique claramente lo contrario, los enunciados de que «cada» caso de algún grupo tiene alguna propiedad no deben interpretarse como excluyentes de casos en los que algunos miembros de un grupo mayor, por lo demás idénticos o similares, no tienen la propiedad (es decir, cada uno no significa necesariamente todos y cada uno). Las limitaciones en cuanto a la secuencia de los pasos mencionados no deben interpretarse en las reivindicaciones, a menos que se especifiquen explícitamente (por ejemplo, con un lenguaje claro como «después de realizar X, realizar Y»), en contraste con enunciados que podrían argumentarse incorrectamente como implicando limitaciones de secuencia (por ejemplo, «realizar X en elementos, realizar Y en los elementos a los que se les realizó X») utilizados con el fin de hacer las reivindicaciones más legibles en lugar de especificar una secuencia. Los enunciados que se refieren a «al menos Z de A, B y C», y similares (por ejemplo, «al menos Z de A, B o C») hacen referencia a al menos Z de las categorías enumeradas (A, B y C) y no requieren al menos Z unidades en cada categoría. A menos que el contexto indique claramente lo contrario, se aprecia que a lo largo de esta memoria descriptiva las descripciones que utilizan términos como «procesamiento», «computación», «cálculo», «determinación», o similares, hacen referencia a acciones o procesos de un aparato específico, tal como una computadora de uso especial o un dispositivo de procesamiento/computación electrónico de uso especial similar.

Modalidades enumeradas

[0152] La presente tecnología se ilustra, por ejemplo, de acuerdo con diversos aspectos descritos a continuación como modalidades numeradas (1, 2, 3, etc.) por conveniencia. Estos se proporcionan como ejemplos y no limitan la presente tecnología. Cabe señalar que cualquiera de las modalidades dependientes se puede combinar en cualquier combinación y colocarse en una modalidad independiente respectiva.

A1. Una mezcla de carbón, que comprende:

primeros carbones que tienen una primera fracción en masa de materia volátil menor o igual a un primer umbral; y

segundos carbones que tienen una segunda fracción en masa de materia volátil mayor o igual a un segundo umbral,

5 en donde:

el primer umbral es menor que el segundo umbral en al menos un 4,0 %;

una temperatura de fusión de cenizas de la mezcla de carbón es menor que 2600 °F; y

la mezcla de carbón tiene una fracción en masa de materia volátil agregada entre 15 % y 25 %.

A2. Una mezcla de carbón, que comprende:

10 primeros carbones que tienen una primera fracción de vitrinita que comprende la fracción de vitrinita V8, la fracción de vitrinita V9, la fracción de vitrinita V10 y la fracción de vitrinita V11, en donde la suma de la fracción de vitrinita V8, la fracción de vitrinita V9, la fracción de vitrinita V10 y la fracción de vitrinita V11 es mayor que 50 %; y

15 primeros carbones que tienen una primera fracción de vitrinita que comprende la fracción de vitrinita V14, la fracción de vitrinita V15, la fracción de vitrinita V16, la fracción de vitrinita V17 y la fracción de vitrinita V18, en donde la suma de la fracción de vitrinita V14, la fracción de vitrinita V15, la fracción de vitrinita V16, la fracción de vitrinita V17 y la fracción de vitrinita V18 es mayor que 50 %.

20 A3. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A2, en donde la mezcla de carbón no comprende ningún carbón que tenga una fracción en masa volátil mayor que el primer umbral y menor que el segundo umbral.

A4. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades 1 a A3, en donde la mezcla de carbón comprende solo los primeros carbones y los segundos carbones.

25 A5. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A4, en donde el primer umbral es menor que 21,0 % y el segundo umbral es mayor que 25,0 %.

A6. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A5, en donde la temperatura de fusión de cenizas de la mezcla de carbón no es mayor que 2450 °F, 2400 °F, 2350 °F, 2300 °F, 2250 °F, 2200 °F o 1800 °F.

30 A7. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A6, que comprende, además, finos de coque.

A8. La mezcla de carbón de la modalidad 6, en donde los finos de coque comprenden entre 1–

20 % de la mezcla de carbón.

A9. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A7 a A8, en donde 5,0 % o menos de los finos de coque se caracterizan como finos de coque de malla 10 o mayor.

5 A10. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A6 a A8, en donde 10,0 % o menos de los finos de coque se caracterizan como finos de coque de malla 20 o mayor, o se caracterizan como finos de coque de malla 90 o menor (15-25 %).

A11. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A10, en donde: los primeros carbones son mayores o iguales al 60 % de la mezcla de carbones; y los segundos carbones son mayores o iguales al 15 % de la mezcla de carbones.

10 A12. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A11, en donde: los primeros carbones son mayores o iguales al 15 % de la mezcla de carbones; y los segundos carbones son mayores o iguales al 60 % de la mezcla de carbones.

A13. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A12, en donde una fracción en masa de óxido de calcio, una fracción en masa de cal, una fracción en masa de trona, una
15 fracción en masa de cenizas de soda, una fracción en masa de soda cáustica, una fracción en masa de escoria de fusión baja en cenizas, una fracción en masa de escoria de horno de oxígeno bajo (BOF), una fracción en masa de escoria de horno de cubilote, una fracción en masa de hierro, una fracción en masa de níquel, una fracción en masa de potasio, una fracción en masa de magnesio, una fracción en masa de sodio, una fracción en masa de sulfato de
20 calcio, una fracción en masa de lana de roca, o una fracción en masa de biomasa de la mezcla de carbón es menor que 5,0 %, o es menor que 3,0 %, o es menor que 1,0 %.

A14. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A13, en donde una fracción en masa de cenizas de la mezcla de carbón es mayor que 10,0 %, o está entre 8,0 %–10,0 %, o está entre 5,5–7,0 %.

25 A15. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A14, en donde la fluidez de la mezcla de carbón es de al menos 100 divisiones de dial por minuto (ddpm), 150 ddpm, 200 ddpm, 250 ddpm, 260 ddpm, 270 ddpm, 280 ddpm, 290 ddpm, o dentro de un intervalo de 250 a 300 ddpm.

30 A16. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A15, que comprende, además, terceros carbones que tienen una tercera fracción en masa de materia volátil menor o igual al primer umbral.

- A17. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A16, en donde los primeros carbones tienen una fracción en masa de vitrinita V16 mayor que 25 %.
- A18. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A17, en donde la suma de una fracción de vitrinita V8, una fracción de vitrinita V9 y una fracción de vitrinita V10 de los segundos carbones es mayor que 40 %.
- A19. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A18, en donde una fracción en peso de la masa de azufre de la mezcla de carbón es de al menos 5,0 %.
- A20. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A19, en donde una fracción en peso de calcio de la mezcla de carbón es de al menos 5,0 %.
- A21. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A20, en donde el contenido inerte de la mezcla de carbón es mayor o igual a 32,0 %, está entre 33,0–35,0 %, o está entre 28,0–40,0 %.
- A22. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A21, en donde el contenido de alúmina de una ceniza de la mezcla de carbón es menor que 7,0 %.
- A23. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A1 a A22, en donde el primer umbral es de 20 % y el segundo umbral es de 30 %.
- A24. Una mezcla de carbón, que comprende:
 primeros carbones que tienen una primera fracción en masa de materia volátil menor o igual a un primer umbral; y
 segundos carbones que tienen una segunda fracción en masa de materia volátil mayor o igual a un segundo umbral,
 en donde:
 el primer umbral es menor que 21,0 %;
 el segundo umbral es mayor que 25,0 %;
- una temperatura de fusión de cenizas de la mezcla de carbón es menor que 2600 °F o es menor que 2450 °F; y
 una fracción en masa de materia volátil agregada de la mezcla de carbón es de entre 15 % y 25 %.
- A25. La mezcla de carbón de la modalidad A24, en donde la temperatura de fusión de las cenizas es menor que 2300 °F.
- A26. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A24 a A25, en donde la

temperatura de fusión de cenizas es menor que 2100 °F.

A27. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A24 a A26, que comprende, además, terceros carbones que tienen una tercera fracción en masa de materia volátil menor o igual al primer umbral, en donde los primeros carbones y los terceros carbones comprenden, cada uno, vitrinita V14, vitrinita V15, vitrinita V16 y vitrinita V17.

A28. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A24 a A27, en donde: los primeros carbones comprenden vitrinita V14, vitrinita V15 y vitrinita V16; una fracción de la vitrinita V16 de los primeros carbones es mayor que una fracción de la vitrinita V15 de los primeros carbones; y

la fracción de la vitrinita V15 de los primeros carbones es mayor que una fracción de la vitrinita V14 de los primeros carbones.

A29. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A24 a A28, en donde el primer umbral es menor que 20,0 %.

A30. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A24 a A29, en donde el segundo umbral es mayor que 28 %.

A31. La mezcla de carbón de cualquiera de las modalidades A24 a A30, en donde una diferencia entre el primer umbral y el segundo umbral es mayor que 10 %.

A32. Un método para determinar una mezcla de carbón para la producción de productos de coque, que comprende:

obtener múltiples parámetros de carbón correspondientes a los primeros y los segundos carbones, en donde:

los primeros carbones tienen una primera fracción en masa de materia volátil menor o igual a un primer umbral; y

los segundos carbones tienen una segunda fracción en masa de materia volátil mayor o igual a un segundo umbral, en donde el primer umbral es menor que el segundo umbral en al menos 4,0 %;

obtener un parámetro objetivo del producto de coque;

determinar múltiples parámetros del producto de coque en función de los múltiples parámetros de carbón y el parámetro del producto de coque objetivo; y

en función de los múltiples parámetros del producto de coque, determinar una formulación de mezcla de carbón para una mezcla de carbón que comprende una combinación de los primeros

carbones y los segundos carbones.

A33. El método de la modalidad A32, que comprende, además, obtener parámetros de finos para finos de coque, en donde:

5 Los parámetros de los finos indican al menos una de las siguientes: fracción en masa de materia volátil de los finos, fracción en masa de cenizas de los finos o fracción en masa de azufre de los finos; y

determinar la formulación de la mezcla de carbón que comprende determinar una cantidad de finos de coque a agregar a la mezcla de carbón en función de los parámetros de los finos.

10 A34. El método de cualquiera de las modalidades A32 a A33, en donde el primer umbral es menor que 21,0 %, y en donde el segundo umbral es mayor que 28,0 %.

B1. Un método para producir un roduto de coque, el método comprende:

agregar agua a una mezcla de carbón para aumentar el contenido de humedad de la mezcla de carbón;

cargar la mezcla de carbón en un horno de coque; y

15 calentar la mezcla de carbón cargada de modo que, durante una duración de la pirólisis de un ciclo de coquización para la mezcla de carbón cargada, la temperatura de la corona del horno de coque sea mayor que una temperatura mínima de coquización, en donde:

la temperatura mínima de coquización está dentro de un intervalo de 1200–2300 °F;

20 la duración de la pirólisis comienza cuando la corona del horno está por encima de la temperatura mínima de coquización;

la duración de la pirólisis termina cuando la temperatura de la corona del horno está por debajo de la temperatura mínima de coquización; y

la duración de la pirólisis mayor que 24 horas.

25 B2. Un método de la modalidad B1, en donde la temperatura mínima de coquización está dentro de un intervalo de 1800–2200 °F.

B3. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B2, en donde un límite superior de la temperatura de la corona está limitado por una temperatura de coquización de límite superior mayor que 2300 °F.

30 B4. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B3, en donde un límite superior de la temperatura de la corona está limitado por una temperatura de coquización de límite superior mayor que 2500 °F.

- B5. El método de la modalidad B4, en donde la temperatura de la corona es mayor que la temperatura de un conducto de la suela del horno de coque durante toda la duración de la pirólisis.
- 5 B6. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B5, en donde la temperatura de la corona del horno de coque durante la duración de la pirólisis está entre 2100–2300 °F.
- B7. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B6, en donde la temperatura de la corona está dentro de un intervalo de temperatura de 100 °F durante al menos doce horas de la duración de la pirólisis.
- 10 B8. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B7, en donde, durante la duración de la pirólisis, la temperatura de un conducto de la suela es menor que 2000 °F, 1900 °F, 1800 °F o 1700 °F.
- B9. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B8, en donde, durante la duración de la pirólisis, la temperatura del conducto de la suela está entre 1400–1800 °F.
- 15 B10. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B9, en donde el tiempo de reposo de la mezcla de carbón cargada es menor que 1,0 hora, 5,0 horas o 10,0 horas.
- B11. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B10, en donde la adición de agua a la mezcla de carbón comprende:
- determinar si una prueba de humedad de la mezcla de carbón satisface un conjunto de valores de humedad objetivo; y
- 20 en respuesta a una determinación de que la humedad de prueba de la mezcla de carbón no satisface el conjunto de valores de humedad objetivo, exponer la mezcla de carbón a más agua.
- B12. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B11, en donde la fracción en peso de humedad de la mezcla de carbón cargada en el horno de coque es al menos 8,0 %, 9,0 %, 10,0 %, 11,0 %, 12,0 % o entre 8,0-13 %.
- 25 B13. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B12, en donde la adición de agua a la mezcla de carbón comprende agregar agua a una cinta transportadora que transporta la mezcla de carbón.
- B14. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B13, en donde la adición de agua a la mezcla de carbón se basa en una materia volátil de la mezcla de carbón.
- 30 B15. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B14, en donde la adición de agua a la mezcla de carbón comprende agregar agua de modo que el contenido de humedad del carbón

cargado sea aproximadamente igual o esté dentro de 1–5 % de una fracción en masa de materia volátil de la mezcla de carbón.

B16. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B15, en donde la duración de la pirólisis es de aproximadamente 48 horas.

5 B17. El método de la modalidad B16, en donde la duración de la pirólisis es de aproximadamente 72 horas.

B18. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B17, en donde una fracción en masa de materia volátil de la mezcla de carbón es menor que 27,0 %.

10 B19. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B18, en donde el horno de coque incluye una compuerta de entrada que puede moverse hacia múltiples posiciones entre abierta y cerrada, y en donde el calentamiento de la mezcla de carbón comprende mantener la compuerta de entrada del horno de coque en una posición menos de la mitad abierta durante la mayor parte de las primeras 24 horas del ciclo de coquización.

15 B20. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B19, en donde el horno de coque incluye una compuerta de entrada que puede moverse hacia múltiples posiciones entre abierta y cerrada, y en donde el calentamiento de la mezcla de carbón comprende mantener la compuerta de entrada del horno de coque en una posición menos de la mitad abierta durante la mayor parte del ciclo de coquización.

20 B21. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B20, en donde el calentamiento de la mezcla de carbón comprende:

abrir una compuerta de entrada al inicio del ciclo de coquización;

realizar, dentro de las dos horas siguientes a la carga de la mezcla de carbón, una primera operación de cierre de la compuerta de entrada desde una primera configuración a una segunda configuración, en donde el flujo a través de un conducto de entrada del horno de coque, mientras
25 la compuerta de entrada está en la segunda configuración, es menor que el flujo a través del conducto de entrada, mientras la compuerta de entrada está en la primera configuración.

B22. El método de la modalidad B21, en donde el calentamiento de la mezcla de carbón se basa en una tasa de cambio de temperatura que no es mayor que un umbral de la tasa de temperatura, en donde el umbral de la tasa de temperatura es menor o igual a 50 °F por hora.

30 B23. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B22, en donde el calentamiento de la mezcla de carbón comprende cerrar una compuerta del conducto de la suela o mantener la

compuerta del conducto de la suela en una posición cerrada durante la mayor parte de la duración de la pirólisis.

B24. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B23, en donde el calentamiento de la mezcla de carbón comprende cerrar una compuerta del conducto de la suela o mantener la compuerta del conducto de la suela en una posición cerrada durante la mayor parte del ciclo de coquización.

B25. El método de cualquiera de las modalidades B1 a B24, en donde la proporción entre el tiempo de reposo y la duración del ciclo de la mezcla de carbón cargada es menor que 33,0 %, 15 % o 5 %.

B26. Un método, que comprende:
calentar la mezcla de carbón dentro de un horno de coque a una temperatura de coquización durante una duración de la pirólisis de una coquización.

en donde:

la duración de la pirólisis comienza cuando una corona del horno está por encima de una temperatura mínima de coquización;

la duración de la pirólisis termina cuando la corona del horno está por debajo de la temperatura mínima de coquización;

la temperatura mínima de coquización está dentro de un intervalo de 1200–2300 °F.

B27. El método de la modalidad B26, en donde, durante al menos 12 horas de la duración de la pirólisis, la temperatura de coquización no varía más de 75 °F, 60 °F, 50 °F, 40 °F o 35 °F.

B28. El método de cualquiera de las modalidades B26 a B27, que comprende, además:

abrir una compuerta de entrada del horno de coque;

iniciar una operación de cierre de la compuerta de entrada al menos dos horas, cuatro horas, seis horas, ocho horas, diez horas o doce horas después de abrir la entrada, en donde la operación de cierre cierra la compuerta de entrada hasta una posición menos de la mitad abierta;
y

mantener la compuerta de entrada en una posición no más abierta que la posición anterior durante al menos doce horas, dieciséis horas o veinte horas después de iniciar la operación de cierre.

B29. El método de cualquiera de las modalidades B26 a B28, en donde la mezcla de carbón comprende finos de coque, y en donde una fracción en masa de cenizas de los finos de que es

mayor o igual a 6,5 %, 7,0 %, 10,0 %, 13 %, 15 % o 20 %.

B30. El método de cualquiera de las modalidades B26 a B29, en donde la mezcla de carbón comprende finos de coque, y en donde una fracción en masa de cenizas de los finos de que es mayor o igual a 15,0 %.

- 5 B31. El método de cualquiera de las modalidades B26 a B30, en donde la temperatura de fusión de cenizas de la mezcla de carbón no es mayor que 2400 °F, 2350 °F, 2300 °F, 2250 °F, 2200 °F, 2000 °F o 1800 °F.

- B32. El método de cualquiera de las modalidades B26 a B31, en donde la fluidez de la mezcla de carbón es de al menos 100 divisiones de dial por minuto (ddpm), 150 ddpm, 250 ddpm, 260
10 ddpm, 270 ddpm, 280 ddpm, 290 ddpm, 300 ddpm, 350 ddpm, 400 ddpm, o 100–400 ddpm.

B33. El método de cualquiera de las modalidades B26 a B35, en donde una fracción en masa de materia volátil agregada de la mezcla de carbón está entre 18–22 %.

B34. Un horno de coque, que comprende:

- una cámara del horno que comprende una corona y un conducto de la suela;
- 15 un conducto de entrada en comunicación de fluido con la cámara del horno, el conducto de entrada se configura para recibir gases de escape de la cámara del horno;
- una compuerta de entrada en comunicación de fluido con el conducto de entrada, la compuerta de entrada se encuentra en cualquiera de múltiples posiciones, incluidas completamente abierta y cerrada, en donde una manipulación de la compuerta de entrada entre posiciones configura
- 20 un flujo de aire a través del conducto de entrada;
- un accionador de la compuerta configurado para alterar la posición de la compuerta de entrada entre las múltiples posiciones;
- un túnel común en comunicación de fluido con el conducto de entrada, el túnel común se configura para recibir gases de escape del conducto de entrada; y
- 25 un controlador configurado para realizar operaciones durante un ciclo de coquización, las operaciones comprenden calentar una mezcla de carbón dentro de un horno de coque a una temperatura de coquización durante una duración de la pirólisis de un ciclo de coquización, en donde:
- la duración de la pirólisis comienza cuando una corona del horno está por encima de una
- 30 temperatura mínima de coquización;
- la duración de la pirólisis termina cuando la corona del horno está por debajo de la temperatura

mínima de coquización;

la temperatura mínima de coquización está dentro de un intervalo de 1200–2300 °F; y

La temperatura del conducto de la suela permanece por debajo de la temperatura de la corona durante toda la duración de la pirólisis.

- 5 B35. El horno de coque de la modalidad B34, en donde el controlador se configura, además, para realizar operaciones que comprenden:

abrir una compuerta de entrada al inicio del ciclo de coquización;

realizar, dentro de las dos horas siguientes a la carga de la mezcla de carbón, una primera operación de cierre de la compuerta de entrada desde una primera configuración a una segunda

- 10 configuración, en donde el flujo a través de un conducto de entrada del horno de coque, mientras la compuerta de entrada está en la segunda configuración, es menor que el flujo a través del conducto de entrada, mientras la compuerta de entrada está en la primera configuración.

B36. El horno de coque de cualquiera de las modalidades B34 a B35, en donde una fracción en peso de humedad de la mezcla de carbón se encuentra entre 10 y 12 % antes de calentar la
15 mezcla de carbón.

C1. Un producto de coque configurado para combustionar en un horno de cubilote, el producto de coque comprende:

calentar una mezcla de carbón en un horno de coque hasta una temperatura mínima de coquización, en donde la duración de la pirólisis comienza cuando la temperatura de la corona
20 del horno de coque alcanza la temperatura mínima de coquización, y en donde la temperatura de la corona es mayor que la temperatura del conducto de la suela del horno de coque durante la duración de la pirólisis; y

retirar un producto de coque producido a partir de la mezcla de carbón del horno de coque, en donde el índice de reactividad del coque del producto de coque es de al menos 30 %.

- 25 C2. El producto de coque de la modalidad C1, en donde el producto de coque comprende: una forma oblonga,

una primera dimensión entre 6,0–12,0 pulgadas; y

una segunda dimensión, normal respecto a la primera dimensión, mayor que 2,5 pulgadas.

C3. El producto de coque de cualquiera de las modalidades C1 a C2, en donde las operaciones
30 comprenden, además:

antes de calentar la mezcla de carbón, cargar la mezcla de carbón en el horno de coque, en

donde:

la mezcla de carbón comprende primeros carbones y segundos carbones;

los primeros carbones tienen una primera fracción en masa de materia volátil menor o igual a 21,0 %;

- 5 los segundos carbones tienen una segunda fracción en masa de materia volátil mayor o igual a 27,0 %;

La mezcla de carbón no comprende carbones que tengan una fracción en masa de materia volátil entre 15,0 % y 27,0 %.

- 10 C4. El producto de coque de cualquiera de las modalidades C1 a C3, en donde la tasa de coquización es menor que 1 tonelada de carga de mezcla de carbón por hora, menor que 0,75 toneladas de carga de mezcla de carbón por hora o menor que 0,50 toneladas de carga de mezcla de carbón por hora.

C5. El producto de coque de cualquiera de las modalidades C1 a C4, en donde la temperatura de fusión de cenizas del producto de coque es menor que 1800 °F o 2450 °F.

- 15 C6. El producto de coque de cualquiera de las modalidades C1 a C5, en donde el índice de reactividad de coque del producto de coque es de al menos 35,0 %, 40,0 % o 45,0 %.

C7. El producto de coque de cualquiera de las modalidades C1 a C6, en donde el producto de coque tiene una resistencia de coque después de la reacción (CSR) mayor o igual a 1,0 %.

- 20 C8. El producto de coque de cualquiera de las modalidades C1 a C7, en donde el producto de coque tiene un índice de reactividad de coque (CRI) entre 25 % y 65 % y una resistencia de coque después de la reacción (CSR) mayor o igual a 1 %.

C9. El producto de coque de cualquiera de las modalidades C1 a C8, en donde el producto de coque tiene una resistencia al impacto por caída de 2 pulgadas mayor o igual a 90 %.

- 25 C10. El producto de coque de cualquiera de las modalidades C1 a C9, en donde el producto de coque tiene una resistencia al impacto por caída de 4 pulgadas mayor o igual a 80 %.

C11. El producto de coque de cualquiera de las modalidades C1 a C10, en donde la producción del producto de coque comprende, además, realizar una operación de cierre de una compuerta de entrada del horno de coque dentro de las cuatro horas posteriores al inicio de la duración de la pirólisis.

- 30 C12. Una población de productos de coque, en donde la población de productos de coque se produce mediante operaciones que comprenden:

calentar una mezcla de carbón en un horno de coque hasta una temperatura mínima de coquización, en donde la duración de la pirólisis comienza cuando una temperatura de la corona del horno de coque alcanza la temperatura mínima de coquización; y

- 5 realizar una operación de cierre de una compuerta de entrada del horno de coque dentro de las cuatro horas posteriores al inicio de la duración de la pirólisis, en donde la temperatura de la corona es mayor que la temperatura de un conducto de la suela del horno de coque durante la duración de la pirólisis, y en donde la población de productos de coque comprende productos de coque de fundición que tienen un índice de reactividad de coque de al menos el 30 %, productos de coque en forma de huevo y productos de finos de coque.
- 10 C13. La población de productos de coque de la modalidad C12, en donde:
los productos de coque de fundición representan al menos el 40 % de la población de productos de coque; y
los productos de coque en forma de huevo y los productos de finos de coque representan al menos 20 % de la población.
- 15 C14. La población de productos de coque de la modalidad C13, en donde:
los productos de coque de fundición representan al menos el 60 % de la población de productos de coque; y
los productos de coque en forma de huevo y los productos de finos de coque representan al menos 20 % de la población de productos de coque.
- 20 C15. La población de productos de coque de cualquiera de las modalidades C12 a C14, en donde una fracción en masa de cenizas en los productos de coque de fundición se encuentra entre 5,0 % y 10,0 %.
- C16. La población de productos de coque de cualquiera de las modalidades C12 a C15, en donde una fracción en masa de materia volátil de los productos de coque de fundición es menor
25 que 1,0 %.
- C17. La población de productos de coque de cualquiera de las modalidades C12 a C16, en donde un producto de los productos de coque de fundición tiene una resistencia a la caída de 4 pulgadas mayor o igual al 80 %.
- C18. La población de productos de coque de cualquiera de las modalidades C12 a C17, en
30 donde la mezcla de carbón tiene materia volátil entre 15 % y 40 %, y en donde la mezcla de carbón tiene una fluidez mayor o igual a 100 divisiones de dial por minuto.

C19. La población de productos de coque de cualquiera de las modalidades C12 a C18, en donde un producto de los productos de coque en forma de huevo tiene un diámetro hidráulico menor que 2,0 pulgadas.

C20. Un producto de coque, en donde el producto de coque se produce mediante operaciones que comprenden calentar una mezcla de carbón en un horno de coque a una temperatura de coquización inferior para producir un producto de coque, en donde:

la duración de la pirólisis comienza cuando una temperatura de la corona del horno de coque alcanza la temperatura mínima de coquización;

la temperatura de la corona es mayor que la temperatura del conducto de la suela del horno de coque durante la duración de la pirólisis; y

una temperatura de fusión de cenizas del producto de coque es menor que 2300 °F, menor que 2400 °F o menor que 2600 °F.

C21. El producto de coque de la modalidad C20, en donde las operaciones comprenden, además:

aumentar la humedad de la mezcla de carbón hasta una humedad de al menos 5,0 %, 7,5% o 10,0 %; y

cargar la mezcla de carbón en el horno de coque después de aumentar la humedad de la mezcla de carbón.

D1. Un producto de coque, que comprende:

un índice de reactividad de coque (CRI) de al menos 30 %; y

una temperatura de fusión de las cenizas (AFT) no mayor que 1316 °C.

D2. Un producto de coque, que comprende:

una ceniza que tiene una composición que satisface la siguiente ecuación:

$$\text{Temperatura de fusión de cenizas (AFT)} = 19 \times (\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}) + 15 \times (\text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}} + \text{TiO}_2_{\text{fracción_masa}}) + 10 \times (\text{CaO}_{\text{fracción_masa}} + \text{MgO}_{\text{fracción_masa}}) + 6 \times (\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}} + \text{Na}_2\text{O}_{\text{fracción_masa}}),$$

en donde:

la AFT es un valor entre 1204 °C y 1426 °C;

la $\text{SiO}_2_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción en masa de SiO_2 de la ceniza;

la $\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción en masa de Al_2O_3 de la ceniza;

la $\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{fracción_masa}}$ es una fracción en masa de Fe_2O_3 de la ceniza;

la CaO_fracción_masa es una fracción en masa de CaO de la ceniza;

la MgO_fracción_masa es una fracción en masa de MgO de la ceniza;

D3. Un producto de coque, que comprende:

una ceniza que tiene una composición que satisface la siguiente ecuación:

$$5 \quad \text{Temperatura de fusión de cenizas (AFT)} = 19 \times (\text{Al}_2\text{O}_3_fracción_masa) + 15 \times (\text{SiO}_2_fracción_masa + \text{TiO}_2_fracción_masa) + 10 \times (\text{CaO_fracción_masa} + \text{MgO_fracción_masa}) + 6 \times (\text{Fe}_2\text{O}_3_fracción_masa + \text{Na}_2\text{O_fracción_masa} + \text{K}_2\text{O_fracción_masa}),$$

en donde:

$$10 \quad \text{la AFT es un valor entre } 982 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ y } 1426 \text{ } ^\circ\text{C};$$

la $\text{SiO}_2_fracción_masa$ es una fracción en masa de SiO_2 de la ceniza;

la $\text{Al}_2\text{O}_3_fracción_masa$ es una fracción en masa de Al_2O_3 de la ceniza;

la $\text{Fe}_2\text{O}_3_fracción_masa$ es una fracción en masa de Fe_2O_3 de la ceniza;

la CaO_fracción_masa es una fracción en masa de CaO de la ceniza;

$$15 \quad \text{la } \text{MgO_fracción_masa} \text{ es una fracción en masa de } \text{MgO} \text{ de la ceniza; y}$$

la $\text{K}_2\text{O_fracción_masa}$ es una fracción en masa de K_2O de la ceniza;

D4. Un producto de coque, que comprende:

una ceniza que tiene una composición que satisface la siguiente ecuación:

$$20 \quad \text{Temperatura de fusión de cenizas (AFT)} = 401,5 + 26,3 \times \text{SiO}_2_fracción_masa + 40,7 \times \text{Al}_2\text{O}_3_fracción_masa - 11,0 \times \text{Fe}_2\text{O}_3_fracción_masa - 7,9 \times \text{CaO_fracción_masa} - 112 \times \text{MgO_fracción_masa},$$

en donde:

$$\text{la AFT es un valor entre } 982 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ y } 1204 \text{ } ^\circ\text{C};$$

la $\text{SiO}_2_fracción_masa$ es una fracción en masa de SiO_2 de la ceniza;

$$25 \quad \text{la } \text{Al}_2\text{O}_3_fracción_masa \text{ es una fracción en masa de } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ de la ceniza;}$$

la $\text{Fe}_2\text{O}_3_fracción_masa$ es una fracción en masa de Fe_2O_3 de la ceniza;

la CaO_fracción_masa es una fracción en masa de CaO de la ceniza;

la MgO_fracción_masa es una fracción en masa de MgO de la ceniza;

$$30 \quad \text{D5. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D4, en donde la AFT es aproximadamente igual a al menos uno de } 1204 \text{ } ^\circ\text{C}, 1260 \text{ } ^\circ\text{C}, 1288 \text{ } ^\circ\text{C}, 1316 \text{ } ^\circ\text{C}, 1343 \text{ } ^\circ\text{C}, 1371 \text{ } ^\circ\text{C}, 1399 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ o } 1427 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

- D6. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D5, en donde el producto de coque tiene una temperatura de deformación inicial entre 1149 °C y 1316 °C.
- D7. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D6, en donde el producto de coque tiene una temperatura de ablandamiento entre 1177 °C y 1371 °C.
- 5 D8. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D7, en donde el producto de coque tiene una temperatura hemisférica entre 1204 °C y 1371 °C.
- D9. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D8, en donde el producto de coque tiene una temperatura de fluido entre 1232 °C y 1427 °C.
- D10. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D9, en donde una fracción
10 en masa de las cenizas del producto de coque no es mayor que 10,0 %.
- D11. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D10, en donde una fracción en masa de azufre u óxido de azufre del producto de coque no es mayor que 1,0 %.
- D12. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D11, en donde:
el producto de coque se produce a partir de una mezcla de carbón que comprende cenizas que
15 incluyen Al_2O_3 y SiO_2 ; y
una fracción en masa combinada de Al_2O_3 y SiO_2 de la ceniza no es mayor que 65 %.
- D13. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D12, en donde la AFT es de aproximadamente 1204 °C.
- D14. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D13, en donde:
20 el producto de coque se produce a partir de una mezcla de carbón que comprende cenizas que incluyen Al_2O_3 y SiO_2 ; y
una fracción en masa combinada de Al_2O_3 y SiO_2 de la ceniza se encuentra entre 65 % y 80 %.
- D15. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D14, en donde la AFT se encuentra entre 1204 °C y 1260 °C.
- 25 D16. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D15, en donde:
el producto de coque se produce a partir de una mezcla de carbón que comprende cenizas que incluyen CaO ; y
una fracción en masa de CaO de la ceniza es de al menos 2,0 %.
- D17. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D16, en donde el producto
30 de coque tiene un índice de reactividad de coque (CRI) de al menos 25,0 %.
- D18. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D17, en donde el producto

de coque tiene una resistencia de coque después de la reacción (CSR) que no es mayor que 40,0 %.

D19. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D18, en donde el producto de coque tiene una resistencia al impacto por caída de 2 pulgadas de al menos 90 %.

5 D20. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D19, en donde el producto de coque tiene una resistencia al impacto por caída de 4 pulgadas de al menos 80 %.

D21. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D20, en donde una fracción en masa de las cenizas del producto de coque es de al menos 8,0 %.

10 D22. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D21, en donde una fracción en masa de materia volátil del producto de coque no es mayor que 1,0 %.

D23. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D22, en donde un contenido de carbono fijo del producto de coque es de al menos 94,5 %.

D24. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D23, en donde un contenido de carbono fijo del producto de coque es de al menos 85,0 %.

15 D25. El producto de coque de cualquiera de las modalidades D1 a D24, en donde el producto de coque comprende al menos Na^{+1} , Fe^{2+} o F^{3+} .