

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 496 666**

51 Int. Cl.:

**C22B 5/10** (2006.01)

**C22B 5/14** (2006.01)

**C22B 7/02** (2006.01)

**C22B 19/30** (2006.01)

**C22B 19/34** (2006.01)

**C22B 13/02** (2006.01)

**F27B 7/00** (2006.01)

**C21B 13/00** (2006.01)

**C21B 13/08** (2006.01)

**C22B 19/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.11.2009 E 09014285 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.07.2014 EP 2216419**

54 Título: **Tecnología de refinamiento de residuos metálicos que contienen cinc en un horno rotatorio**

30 Prioridad:

**10.02.2009 CZ 20090075**

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

**19.09.2014**

73 Titular/es:

**ADEL T, MILAN (20.0%)**

**Zd. Petrika 2010**

**27201 Kladno, CZ;**

**LEITNER, EKHard (20.0%);**

**GORA, PAVEL (20.0%);**

**MOULIS, VLASTIMIL (20.0%) y**

**RACLAVSKY, MILAN (20.0%)**

72 Inventor/es:

**ADEL T, MILAN;**

**LEITNER, EKHard;**

**GORA, PAVEL;**

**MOULIS, VLASTIMIL y**

**RACLAVSKY, MILAN**

74 Agente/Representante:

**LAZCANO GAINZA, Jesús**

ES 2 496 666 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Tecnología de refinamiento de residuos metálicos que contienen cinc en un horno rotatorio

- 5 La invención se refiere a la tecnología y equipos necesarios para refinar residuos metálicos que son inapropiados para el procesamiento directo en altos hornos y otros equipos de fabricación de acero como resultado del alto contenido de cinc, plomo, y cadmio, que incluyen arcillas y polvos asociados a los procesos de fabricación de acero. Como regla, el contenido de cinc en la carga de altos hornos se limita a 150 g de cinc por tonelada.
- 10 El principio del proceso en cuestión es la reducción de óxidos de cinc, plomo y cadmio a partir de los cuales se originan los gases de los mencionados metales, sus oxidaciones posteriores en el frente de combustión y en la zona de oxidación del horno creando polvo que puede escapar fácilmente del espacio libre encima de la carga del horno, donde simultáneamente con la evaporación del cinc, plomo, y cadmio, el hierro se reduce con un resultado de metalización de la carga de un 25 a un 100%.
- 15 Las características esenciales del proceso son la separación de las zonas de oxidación y reducción en un horno rotatorio y un calor y transferencia de masa intensos.
- 20 La zona de reducción se localiza en la parte del horno alojando la carga en una forma condensada que, como resultado de las acciones del calor y los procesos de reducción, se modifica gradualmente a un producto de salida con un contenido significativamente reducido de cinc, plomo, y cadmio. El ambiente de reducción en el horno se crea mediante la adición de materiales con un alto contenido de carbono a la carga del horno.
- 25 La zona de oxidación se localiza por encima de la carga donde se encuentran los productos de combustión y donde los productos de reducción, fundamentalmente monóxido de carbono y metales incluyendo cinc en forma gaseosa, se oxidan para producir gases y polvo. La zona de oxidación se crea mediante el suministro de una cantidad suficiente de oxígeno o aire caliente en el espacio encima de la carga para asegurar que el contenido de CO<sub>2</sub> en los productos de combustión al final del horno rotatorio sea al menos el doble de alto que el de CO.
- 30 Como los residuos metalúrgicos hoy día tienden a contener cada vez mayores cantidades de cinc, la separación de cinc de los residuos metálicos se ha convertido en un problema. El parámetro clave del proceso es la duración del tiempo en que la carga permanece en el horno después de las separaciones cinc (y plomo y cadmio) del resto del material de entrada. Los productos del proceso de refinamiento son hierro reducido, polvos de escape ricos en cinc, plomo, y cadmio y escoria inerte.
- 35 Estado de la técnica
- Un número de tecnologías de procesamiento de residuos se están desarrollando actualmente. Este hecho es indicativo de los problemas existentes con el procesamiento de los residuos metálicos y la creciente conciencia sobre los aspectos ecológicos de los procesos metalúrgicos en general. Hasta ahora, no ha habido ningún ganador en la carrera por el mejor método de procesamiento de desperdicios y el refinamiento de desperdicios más eficiente y controlado. Las siguientes soluciones al proceso son consideradas o implementadas:
- 40
- reducción directa de la carga en un horno portador rotatorio; esta tecnología fue desarrollada e introducida a escala industrial en Japón, mientras que proyectos similares en Europa han sido descontinuados;
  - procesos de fundición de la carga en un horno de arco eléctrico - una tendencia moderna, particularmente en Europa;
  - reducción de la carga y fusión en un horno rotatorio; una solución actualmente en estado de desarrollo.
- 45
- 50 Una revisión del presente estado de los asuntos ha revelado (ver más abajo) que varias tecnologías para el procesamiento de minerales metálicos y residuos han sido desarrolladas y algunas de ellas están en el estado inicial de implementación. Los procesos están fundamentalmente pensados para minerales ricos y el equipo asociado es adecuado para la producción comercial de productos directamente reducidos.
- 55 El proceso de CERO RESIDUO es una tecnología para el procesamiento de escorias de la fabricación de acero que apunta a la reducción de los óxidos de metales como hierro, manganeso, fácilmente reducibles y, en el caso de los desperdicios provenientes del proceso de fabricación de acero inoxidable como cromo, níquel, y molibdeno, con modificaciones de la composición de la escoria tales que permiten que el producto final pueda ser usado como un agente aglomerante hidráulico. El proceso, el cual se lleva a cabo en un tipo de equipo en forma de horno de caldero de colada, implica una generación reducida de CO<sub>2</sub>. Esta tecnología fue probada dentro de un proyecto auspiciado por la U.E. en la compañía VÍTKOVICE - Strojírenství. Aquí, los mayores retos tecnológicos están en el tiempo de vida de los tubos de inyección, control de la fluidez de la escoria y la forma y diseño del horno.
- 60

5 El proceso PRIMUS comenzó una corrida de prueba en el 2000. En el presente la tecnología se usa para el procesamiento de polvos de escape provenientes de hornos de arco eléctrico y costras provenientes de los molinos rodantes. El proceso se basa en el horno de Herreshoff-Wedgen de múltiples pisos y reservas, los cuales se usaron frecuentemente en el pasado para el tostado de minerales. El material es continuamente suministrado a la parte central de la plataforma en el piso tope del horno, donde los brazos de la reserva lo agitan y transfieren al borde de la plataforma, desde donde este cae al piso inferior. El horno está dividido verticalmente en varias zonas, donde varias reacciones químicas ocurren, en correspondencia con la temperatura de la zona. En la zona tope la carga es secada, y en la zona central esta es precalentada y calcinada, mientras cualquier combustible presente se evapora. En la zona más baja, con la temperatura mayor la carga es reducida y el cinc y el plomo se evaporan. Estos metales son consecuentemente requemados y abandonan el proceso en forma de polvo. Después de un año de operación, el equipo no alcanza su capacidad proyectada. La razón para esta falla es la recalcinación de los óxidos de hierro en la etapa de procesamiento cuando la destilación de los combustibles y los constituyentes volátiles de la hulla ha sido completada. Durante el proceso de recalcinación, el carbonato ferroso tiende a pegarse en los brazos agitadores, lo cual implica que sea rompa el flujo de material a través del horno. Aún en el caso en que estos equipos proporcionen refinados satisfactorios de residuos metálicos, su complejidad y problemas operacionales lo hacen más bien ineficiente y lanzan dudas sobre la viabilidad de un retorno en las inversiones asociadas.

20 La compañía NIPPON STEEL desarrolló el proceso NSC, que consiste en la fusión y reducción de la carga en un horno de hoyo. El combustible usado para el horno son los residuos municipales. En un horno de hoyo los residuos son fundidos y vitrificados. Los gases de escapes, los cuales tienen un alto contenido de calor químico, son utilizados en equipos asociados. Las plantas NSC son ampliamente usadas para el procesamiento de residuos municipales. Una parte importante de la tecnología es la alimentación con residuos a varios niveles del horno.

25 El proceso Cometa usa un horno rotatorio de chimenea (RHF). La chimenea rota en el centro de un túnel del horno circular y una mezcla de hulla seca y aplastada y mineral de hierro extendida en una capa fina se suministra continuamente al mismo. Para los propósitos de desulfuración, pequeñas cantidades de caliza o cal apagada se mezclan con la hulla. En relación con la extensión del equipo piloto respecto a una planta industrial con una capacidad de 750 kt/año, surgieron varios problemas serios. Las temperaturas en la zona de la chimenea se incrementaron hasta 1425-1520 °C, como resultado del cual el polvo generado durante el procesamiento reacciona a tan altas temperaturas con el revestimiento del horno, que causa su degradación rápida. La estabilidad del proceso no fue satisfactoria incluso previo al intento de agrandar el equipo de la planta piloto (hasta alrededor de 50 veces). Ni tan siquiera fue posible alcanzar la homogeneidad deseada del material (mezclando los componentes de la carga) necesario para el refinamiento suave de los residuos metálicos

35 Midrex, conjuntamente con Kobe Steel, desarrollaron un proceso ITMK3 de su propiedad, que consiste en la reducción de residuos metálicos en un horno rotatorio portador. El equipo piloto de este tipo, con una chimenea de diámetro de 4 m, fue erigida en los Trabajos de Kakogawa. La dimensión del equipo piloto indica que el proceso aún continúa en la etapa de desarrollo. La idea de punta de la separación de las fases metal y escoria en un estado semilíquido es muy interesante. Lo que se está demandando desde el punto de vista tecnológico es la preparación de perlas y la estabilización de su composición química y de fase. Un problema específico es la interacción potencial de la fase escoria con las partes cerámicas de la chimenea del horno.

40 El propósito del proceso de OXYFINE es la sinterización y el secado de materiales en polvo. Esta facilita el tratamiento de los sedimentos transportados de cualquiera de las dos formas por aire a presión o en un tanque de lodos. El residuo es inyectado en el centro de un quemador de llama oxi-gas, donde se funde y los componentes combustibles se queman. El nivel de oxidación es bajo. Por ejemplo, este método es adecuado para el procesamiento de fracciones que caen del proceso de producción de FeSi. Durante el procesamiento de los residuos las partículas sólidas funden y la escoria se acumula en el fondo del recipiente reactor. La llama quemadora puede fundir a ambos residuos, secos o húmedos (con un contenido de humedad hasta un 65%). La precondición esencial para el funcionamiento correcto del método es la dispersión (atomización) perfecta del residuo procesado.

50 El proceso CONTOP utiliza equipos de fundido tipo ciclón para fundir materiales a temperaturas muy altas (entre 1800 y 2000 °C). Es adecuado para fundir tanto metales como los óxidos metálicos. Como no se puede alcanzar la reducción en la zona de fundición, los desarrolladores del proceso planearon añadir al ciclón una chimenea fija donde la reducción podría tener lugar si se necesitaba. El equipo está pensado para el procesamiento de residuos peligrosos tales como pinturas viejas o residuos orgánicos, la liquidación de los cuales es generalmente difícil. El calor generado puede utilizarse para fines de calefacción.

60 El horno vertical de vástago bajo de TECNORED está siendo desarrollado como un proyecto conjunto por DANIELI-CORUS como una alternativa de un proceso de producción de lingotes de hierro, eliminando la necesidad de coque. Este proceso, que se alega que es adecuado para el procesamiento de residuos, está basado en la experiencia a largo plazo con el

desarrollo de hornos de vástago bajo en la antigua República Democrática Alemana y en Liège, Bélgica en los años 1950. El trabajo de desarrollo aún continúa. Los mayores avances del proceso consisten en el uso de perlas de autorreducción y la separación del vástago del horno. El aspecto problemático parece ser la generación la explosión de aire caliente necesaria para el procesamiento de los residuos que contienen cantidades mayores de cinc. El procesamiento de residuos que contienen cinc está acompañado por la generación de una gran cantidad de polvo, causando un deterioro de las piezas de transferencia de calor en los recuperadores. La información publicada del proceso es silente respecto a la interacción entre el polvo y la carga del horno, la productividad reducida de los hornos, y la menor calidad asociada del proceso de refinamiento de residuos metálicos.

Los problemas fundamentales con el proceso OXYCUP usado para la eliminación de Zn de los residuos metálicos (donde el contenido de Zn está entre un 0.5 y un 5%) son la baja temperatura de ebullición del metal y la altas temperaturas de ebullición de los óxidos metálicos. Los vapores de cinc metálico condensan fácilmente, mientras los óxidos permanecen a temperaturas metalúrgicas en estado sólido. Otro problema surge puesto que los vapores de Zn oxidados producen un polvo muy fino que se adhiere a prácticamente todos los tipos de superficies. En general, el patrón de comportamiento del Zn y el Pb es más bien complejo. En la mezcla, estos elementos no aparecen en su forma metálica y forman solamente óxidos; las interacciones entre los óxidos de cinc y óxidos de hierro dan lugar a formas complejas, donde la situación puede ser más aún complicada por la presencia de cloruros y fluoruros.

La tecnología usada para el procesamiento de minerales de hierro en un horno rotatorio con reducción de hierro y mineral es bien conocida. Existen diferentes tipos de diseños del cilindro interior del horno donde la reducción del hierro puede ocurrir en cualquier de las dos condiciones líquida o sólida. Sin embargo, el tipo de condición más frecuentemente usada es una pastosa (más conocida como nodulizante). Aquí el horno es más largo y la temperatura de salida es mayor. Dentro de las condiciones adecuadas la reducción de hierro forma cúmulos (nódulos). El proceso entero es llamado nodulizante y el segmento del horno donde los nódulos son formados es conocido como el intervalo nodulizante. La nodulización requiere de temperaturas de 1250 a 1300 °C y un diseño especial del cuello de anillo de la salida del horno, asegurando el balance de los ambientes reductores y oxidantes necesarios para la formación de los nódulos. Más aún, la escoria necesita tener una viscosidad específica tal para impedir que los nódulos se hundan y se peguen al revestimiento del horno. Un cierto grado de acidez de la escoria es necesario que sea mantenida también; esto es el por qué la nodulización es primariamente apropiada para el procesamiento de minerales ácidos. Una planta nodulizante típica incluye hornos de 60 m de largo y con un diámetro externo de 3,6 m. La velocidad de rotación del horno es de aproximadamente 1 r.p.m. Sin embargo, hornos más grandes también pueden ser encontrados. El tamaño del nódulo depende de la viscosidad de la escoria y del largo del rango nodulizante donde, en condiciones óptimas, la mayoría de los nódulos están entre 2 y 8 mm de diámetro. Los problemas más comunes asociados con esta tecnología son la eficiencia del proceso y el corto tiempo de vida del revestimiento del horno. El procesamiento posterior de los nódulos depende de su composición. Estos usualmente tienen un alto contenido de fósforo y azufre y son usados como un componente de la carga en altos hornos. Estos pueden además ser añadidos a hornos eléctricos con el costo de extender los períodos de defosforización y desulfuración. Se han realizado además algunos intentos para fundir los nódulos en hornos cilíndricos donde la desulfuración fue cuidadosa con la adición de cal sólida. Sin embargo, tales hornos son primariamente usados como equipo metalúrgico para la reducción de hierro y minerales, no para los propósitos de refinamiento de residuos metálicos y la separación controlada de Zn, Pb, y Cd.

Las ventajas de los hornos rotativos en el campo de la fabricación de hierro y acero han dado un aumento a numerosas tecnologías y procesos patentados. Con respecto a la fabricación de acero se conocen los documentos de patentes siguientes:

EP 0134336, describe el uso de un horno rotativo en combinación con una metalurgia secundaria y una colada continua de acero;

EP 0933436, describe el uso de un horno rotativo para el fundido y calentamiento de hierro directamente reducido y su desulfuración;

WO 94/11536, describe un horno rotativo continuo dividido en dos secciones, donde la Sección Uno es usada para el precalentamiento y fundición y la Sección Dos para el calentamiento del metal fundido a la temperatura requerida. La sección 2 incluye un equipo para inyectar carbón en el metal fundido;

WO 95/29137, describe la eliminación de la escoria del equipo metalúrgico, incluyendo hornos rotativos;

WO 99/60172, describe un horno rotativo continuo dividido en dos secciones, donde la Sección Uno es usada para el precalentamiento y fundición y la Sección Dos para el calentamiento del metal fundido a la temperatura requerida. La

sección Dos incluye un equipo para inyectar carbón en el metal fundido. El equipo de vacío, el propósito del cual es bombear el acero fundido del horno rotativo, está unido al final de la Sección Dos;

EP 0275863, describe el equipo el cual usa un contenedor rotatorio inclinado de fundición y reducción.

US 4105438 describe un equipo tipo horno rotativo y la eliminación de acero fundido mediante succión por vacío;

US 3991987, describe una combinación de un horno rotativo y un horno de arco eléctrico. El propósito del horno rotativo es calentar el metal fundido hasta la temperatura requerida;

US 3514280, describe un proceso de fabricación de acero mediante la fundición en un horno rotatorio. El horno rotatorio está equipado con un par de quemadores localizados de forma opuesta uno del otro. El metal fundido abandona el horno mediante un dispositivo tipo sifón;

5 US 4062674, describe un horno rotatorio de alta velocidad para la fabricación de acero y hierro. La velocidad de rotación es tan alta que la fuerza centrífuga mantiene la carga del horno presionada contra el cuerpo interno del horno;

US 3689251, describe una combinación de un horno rotatorio para la reducción directa y subsecuente fusión y procesado del acero fundido.

10 US 5163997, describe equipos para la fabricación de acero continua mediante la fundición en un horno rotatorio. El horno rotatorio está dividido en dos secciones y está equipado con un par de quemadores localizados en lados opuestos del horno. El quemador en el extremo cargado sirve para el propósito de terminar quemando y precalentando la carga sólida;

WO 91/07127, describe un horno rotatorio para el quemado de residuos peligrosos y el subsecuente fundido de la escoria resultante.

15 EP 0442040, describe un equipo para reducir las perlas, y

EP 0982407, describe equipo para la fusión de sustancias inorgánicas inyectadas bajo una llama.

En cuanto a la fundición de metales, se conocen los siguientes documentos de patentes:

20 US 5141208, describe una combinación en serie de dos hornos, de los cuales uno sirve para la fundición de metales y el otro se utiliza para el precalentamiento, y

EU 0673887, describe hornos usados comúnmente para la fundición de metales.

Desde el año 2000, el interés en los hornos rotativos en los Estados Unidos se ha mantenido alto.

25 US 2001/6012 describe un equipo para la fusión continua de metales en un horno rotativo. El equipo incluye varias boquillas, quemadores y transportadores mecánicos para el cargado continuo del horno. El calor generado en el proceso de combustión a partir de la zona de fundición es usado para precalentar la carga en la respectiva sección del horno.

30 US 2002/130448 describe más bien un fragmento complejo de un equipo incluyendo un horno rotativo y usado para la producción de lingotes de hierro o acero directamente del mineral de hierro. El equipo incluye además un reactor donde los óxidos metálicos, en forma gaseosa, son reducidos. El reactor de reducción puede ser un horno de hoyo, pero el autor de la patente es de la opinión que cualquier equipo que facilite la reducción directa de los óxidos en forma gaseosa puede ser usado. El producto parcialmente reducido, en una condición caliente, es transferido hacia un horno rotativo largo, donde la reducción y el fundido son completados. El mismo equipo permite la descarbonización de la carga. De esta forma la documentación de la patente describe los equipos de procesamiento continuo universales en los cuales las etapas individuales del proceso son separadas y ejecutadas en zonas específicas del equipo.

35 EP 0441052 y US P 5188658 describen equipos basados en un horno de arco eléctrico para el procesamiento de residuos, que incluyen el zinc. Aparte del propio equipo de procesamiento de residuos, la patente describe una atmósfera del horno especial: un ambiente ligeramente reductor con una relación CO<sub>2</sub> a CO por debajo de 0.3. El cinc evaporado y otros metales volátiles son atrapados en forma metálica.

40 CZ 295780 se refiere a un proceso de fabricación de acero que utiliza un horno rotativo incluyendo el procesamiento de residuos metalúrgicos en hierro fundido con un contenido mayor en carbono. La limitación de esta tecnología es la composición de la carga, en la cual el contenido de residuo no debe exceder del 50%. La salida de los procesos patentados es el metal fundido para ser luego procesado usando tecnologías de acería. El procesamiento de una carga con un contenido de residuos inferior asegura un contenido de zinc inferior en el polvo separado.

45 CZ 297878 se refiere al procesamiento de residuos metálicos con un contenido de zinc relativamente alto (excede el 5%). La patente no especifica ningún proceso previo de las materias primas o una subsecuente eliminación de hierro del concentrado de cinc.

La esencia de la patente

50 La patente se refiere a la refinación de residuos metálicos que contienen zinc y su conversión a una materia prima utilizable usando combustibles fósiles y oxígeno o aire con un mayor contenido de oxígeno o aire precalentado en un horno de tipo horno rotativo. El método propuesto consiste en reducir residuos metálicos que incluyen cinc, plomo y cadmio y su refinación controlada en un horno de tipo horno rotativo o un grupo de hornos tipo hornos rotativos operados en un proceso por lotes o de forma continua bajo condiciones de transferencia de calor intensiva y un programa de proceso de refinación específico para asegurar la composición del producto de salida y una consistencia adecuada para su posterior procesamiento utilizando un equipo metalúrgico estándar. Dichas condiciones se pueden crear en un horno de tipo horno rotativo donde la fuente de calor son combustibles fósiles en combinación con oxígeno o aire con un contenido de oxígeno incrementado o aire precalentado. La capacidad de producción deseada se puede lograr mediante la selección de un horno de tipo horno

rotativo de un tamaño apropiado o un grupo de tales hornos. A diferencia de las condiciones en otros equipos similares, se asegura una buena transferencia de calor por la agitación de la carga.

Los residuos procesados resultan en los siguientes tres productos:

- el hierro directamente reducido en la forma de esponja de hierro, nódulos, o en estado fundido;
- un polvo separado rico en cinc, plomo, y óxidos de cadmio representando un exceso de 30% del contenido total;
- la escoria inerte adecuada para usos subsecuentes en ingeniería civil o metalúrgica.

El procesamiento de residuos metálicos toma lugar en un horno tipo rotativo o en un grupo de tales hornos donde el horno de tipo horno rotativo es llenado hasta un 50% de su volumen interno con residuos procesados, lo cual hace posible el paso libre de gases por encima de la carga y la eliminación fácil del horno de las partículas de polvo ricas en cinc, plomo y cadmio. En este arreglo hay dos zonas claramente separadas en el espacio del horno: una zona de ambiente reductor en la parte del horno que contiene la carga en la fase condensada en la presencia de carbón y monóxido de carbono, y en una zona de ambiente de oxidación por encima de la carga, donde los productos gaseosos del proceso de reducción son acabados de quemar, los combustibles fósiles son quemados con oxígeno, y los gases evaporados son oxidados de manera tal que eventualmente abandonan el espacio del horno en forma de polvo.

Previo al procesamiento, los residuos necesitan ser granulados en aras de minimizar las pérdidas por vuelo de cenizas. La granulación consiste en mezclar los residuos con otras sustancias tales como fundentes, agentes reductores, agentes aglutinantes, donde la porción resultante en peso de partículas de 1 mm, y más grandes en talla, debe ser de al menos un 50%. Los agentes reductores basados en carbono pueden ser añadidos al granulado preparado, de cualquiera de las dos formas: previo al cargado o dentro del horno. La adición en el horno tiene la ventaja de afectar la capacidad de reducción de la carga granulada en la parte selecta del horno. El carbono añadido al horno es inyectado usando un transporte de rosca o por lotes usando un mecanismo de tolva.

El proceso de reducción en un horno de tipo horno rotativo provee una separación efectiva de escoria, hierro, y polvo rico en cinc, plomo, y óxidos de cadmio adecuados para el procesamiento subsecuente, donde el contenido de ZnO en el polvo separado es proporcional al contenido actual de cinc en la carga procesada.

El proceso descrito anteriormente asegura que el contenido de zinc, plomo, y cadmio en el producto de salida sea al menos 20 veces mayor que en la carga, donde el contenido total de cinc, plomo, y cadmio fue menor que un 1%, y al menos 10 veces mayor que en una carga con un contenido de zinc, plomo, y cadmio total entre 1 y 2.5%, y, en el caso de un contenido total de zinc, plomo, y cadmio en la carga del horno en que excede el 2.5%, el contenido de estos elementos en el concentrado de salida es al menos de un 25%.

La temperatura de reacción necesaria se proporciona por medio de un quemador de oxígeno usando cualquier combustible gaseoso, líquido o sólido, tales como hidrocarburos o carbón en polvo. La alta eficiencia del proceso es el resultado de una intensa transferencia de calor, facilitando la eficiencia térmica del proceso de calentamiento y de reducción y de la fundición de los residuos metálicos (si fuera aplicable). El proceso asegura el logro de un acabado de quemado casi perfecto de los materiales reducidos y un alto por ciento de la utilización del combustible.

El procesamiento de los residuos metálicos consiste en la reducción de residuos que contienen zinc, plomo y cadmio por el carbono, en donde la reducción puede ocurrir en condición sólida, semisólida o líquida de la carga del horno. El proceso de reducción controlada no solo facilita una reducción progresiva del contenido de cinc, plomo, y cadmio en materiales residuales, pero además provee el control de la consistencia de la salida de un semi-producto con respecto a su procesamiento subsecuente.

La reducción en un estado sólido es concebida para tomar lugar si la porción del fundido en la mezcla de óxidos reducidos es menor de un 20% y la temperatura de reducción no excede 1350 °C. En la mayoría de los casos, la basicidad de los óxidos balastos tales como CaO, SiO<sub>2</sub> MgO, ó Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no necesitan ser modificadas puesto que la basicidad general de los residuos es suficiente; solo excepcionalmente es ajustada la relación de CaO a SiO<sub>2</sub> para ser mayor que 1.5 y para así facilitar la desulfuración. Todo el proceso es sensible a la composición de la escoria. En el procesamiento de residuo, el carbón pulverizado es añadido a la carga que está concebida a ser reducida en estado sólido, de manera tal que la acción de mezclado de la carga asegura el contacto entre óxidos y carbón y el proceso de reducción puede hacer efecto, de dos formas posibles continuamente o por lotes. El metal reducido es magnéticamente separado, briquetado o directamente usado en acerías como un reemplazo de chatarra de acero para el enriquecimiento de la carga del alto horno.

Reducción en un estado semi-líquido o líquido a temperaturas en exceso de 1150 °C. El metal reducido será carburado por el exceso de carbón en la carga reducida, lo cual reduce la temperatura de fusión del metal a valores por debajo de los necesarios para la reducción. Las gotas carburadas de metal en la escoria altamente viscosa eventualmente se combinan para formar trozos de dimensiones mayores que 2 mm. La formación de trozos es contingente sobre la presencia de una escoria viscosa.

El equipo descrito en esta invención facilita el procesamiento de residuos metálicos que contienen cinc, plomo, y cadmio. El equipo consiste en uno o más hornos de tipo rotativo arreglados en una formación de baterías para alcanzar la capacidad de producción deseada. La carga es suministrada al horno de dos formas continuamente, lo cual implica que durante al menos un 60% del tiempo de reducción de residuos metálicos que contienen cinc, plomo, y cadmio estos son añadidos al horno, o por lotes. Dependiendo del método de procesamiento, los hornos tienen diferentes relaciones de L/D (L = longitud del horno, D = diámetro interno del horno). Los hornos para procesamiento de residuos por lote tienen una relación L/D menor de 10, mientras que los hornos para el proceso continuo tienen una relación L/D mayor que 10. Un espacio interno del horno llenado hasta no más de un 50% con residuos procesados tiene dos zonas claramente separadas, donde la Zona 1, con un ambiente de reducción que incluye carbón y monóxido de carbono, es la parte del espacio del horno que contiene la carga en la fase condensada, y la Zona 2, con una atmósfera oxidante, se puede encontrar encima de la carga donde los productos de reducción son acabados de quemar, los combustibles fósiles son quemados en presencia de oxígeno, y los metales evaporados, en particular cinc, son oxidados. La fracciones de polvo así formadas son eliminadas del espacio del horno, y así el contenido de CO<sub>2</sub> en la canal de evacuación es aproximadamente tan alto como el del CO.

El oxígeno necesario para las reacciones de anteriores es suministrado a través de un quemador de oxígeno, o si es necesario, a través de una boquilla adicional de oxígeno con un control de flujo independiente.

El material reducido y eliminado del horno es depositado en un refrigerador, donde es enfriado en un ambiente con un limitado acceso de oxígeno (el agente refrigerante no es únicamente aire solo).

La principal ventaja del método, como el de esta invención, es la utilización directa del potencial químico de combustibles fósiles para el calentamiento, reducción y fusión de la carga (si es aplicable). La solución técnica, que consiste en la separación de las zonas con atmósferas de oxidación y reducción, hace posible la plena utilización del contenido de calor químico en el combustible. El horno de tipo horno rotativo aumenta la eficiencia térmica global aún más, ya que su diseño facilita una muy buena transferencia de calor. Las principales diferencias del método, como el de esta invención, respecto a los métodos convencionales de reducción directa en hornos rotatorios están en la armonización de los procesos tecnológicos con la carga de materiales ricos en sustancias volátiles, tales como cinc o plomo, la optimización de la función de la escoria con respecto a la temperatura y el tipo de reacción en progreso y, finalmente, la producción de hierro reducido directamente (DRI), concentrado de cinc, y escoria inerte. En particular, esta es la producción paralela de DRI y concentrado de cinc lo cual hace este proceso diferente de otros métodos conocidos de procesamiento de minerales en hornos rotativos. Con respecto al diseño del equipo, el método descrito aquí usa una porción del equipo relativamente pequeña y compacta para el procesamiento de residuo, y los costos de inversión relativamente bajos y la simplicidad del proceso son las principales ventajas en comparación con otros procesos de procesamiento de residuos. En el caso de hornos arreglados en baterías, es posible utilizar más eficientemente las capacidades de la estación de limpieza de gas residual, de los equipos de cargado, y otros. Los arreglos de hornos en tándem son ventajosos en términos de eficiencia de la carga precalentada. Desde el punto de vista tecnológico, la ventaja del proceso consiste en la utilización directa del potencial químico de los combustibles fósiles para el procesamiento de residuos metálicos. El proceso en sí facilita el control sobre el grado de contacto de la carga sólida con los productos de combustión.

#### Comentarios de los gráficos/figuras

La Figura 1 muestra las características fundamentales del proceso de tratamiento de residuos metálicos en estado sólido, con especial atención a la disminución gradual del contenido de zinc en la carga del horno. El gráfico se basa en valores recalculados con respecto al contenido total de hierro y no toma en consideración el contenido de agua químicamente unida.

La Figura 2 es un ejemplo del progreso de la reducción en un estado sólido, con especial atención a los cambios en las formas de hierro.

Durante la etapa de calentamiento inicial, los residuos se someten a una oxidación menor con el aumento del contenido de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Al alcanzar una temperatura de 900 °C, la velocidad del proceso de reducción aumenta significativamente, como un resultado del cual, después de poco más de dos horas, se consigue un 90% de metalización.

La figura 3 muestra ejemplos de composiciones del polvo removido después de la separación magnética de las partículas de hierro con respecto al contenido real de cinc y plomo en la carga del horno.

#### Ejemplos prácticos del equipo basado en la invención

Ejemplo 1 Tecnología de refinamiento de residuo metálico usando reducción en estado sólido y un suministro por lote hacia un horno rotatorio

El equipo y tecnología han sido diseñados para asegurar el máximo de la eficiencia térmica y la mínima oxidación, dentro de límites razonables, de la carga y del material reducido anteriormente. Los requerimientos que son necesarios satisfacer

incluyen una llama de alta temperatura, buena transferencia de calor, y una atmósfera fuertemente reductora en el horno. El equipo propuesto reúne estos requerimientos tal y como siguen: la llama de alta temperatura es alcanzada con un quemador de combustibles fósiles en combinación con oxígeno o una mezcla de oxígeno y aire precalentado. La atmósfera de reducción es creada mediante la adición de hulla pulverizada, antracita, coque, o semicoque, u otras sustancias con un alto contenido de carbono. Los materiales de reducción se añaden en más de una cantidad suficiente. En el caso de este equipo, la temperatura de reducción no excede de 1200 °C.

La transferencia de calor intensa se logra mediante la combinación de varios mecanismos de transferencia de calor, tales como:

- calentamiento directo de la carga del horno mediante una llama en la etapa cuando la temperatura de la superficie de la carga es todavía baja;
- radiación de calor de la llama sobre la carga y el revestimiento del horno tras alcanzar la temperatura de la superficie de carga de 900 °C;
- otros mecanismos de transferencia de calor asociados con el funcionamiento del horno rotativo:
  - agitación de la carga, en la que aparece un material relativamente fresco en o cerca de la superficie y el material calentado se transfiere desde la superficie dentro del volumen de la carga;
  - la acción de mezclar mueve el material calentado dentro del volumen de la carga, donde este transfiere calor al material más frío que lo rodea;
  - el calor del revestimiento del horno es transferido al material de carga que entra en contacto con el cuerpo del horno.

El proceso propuesto está basado en la reducción de una carga sólida de residuos metálicos que contienen cinc, plomo, cadmio y con un contenido de agregados entre 0.5 y 5% usando combustibles fósiles en un medio de transferencia de calor intenso, en el que el contenido de zinc no está limitado por el proceso. Las condiciones adecuadas del proceso son creadas en un horno rotativo. La transferencia de calor suficiente es facilitada mediante la agitación de la carga y la gran área posible para la transferencia de calor: la carga es calentada no solo desde el tope, pero además desde el fondo.

El método utilizado para el procesamiento de residuos metálicos es similar al usado para el procesamiento de mineral en hornos rotativos. La diferencia principal en la parte del procesamiento del residuo es el contenido de cinc relativamente alto y las salidas del proceso, que son de DRI y concentrado de cinc. El horno para el caso discutido tiene una relación de L/D (longitud a diámetro interno del horno) menor que 10. El tiempo de procesamiento del residuo metálico depende de la forma en que la carga se mezcla con los agentes de reducción basados en carbono y puede ser cualquiera entre 0.5 a 20 horas, pero en promedio 3 horas. Un ejemplo del progreso de la evaporación de zinc se muestra en la figura 1. Siguiendo la etapa inicial de precalentamiento, se establece la reducción rápida, acompañada por la evaporación de cinc y plomo. La duración de la etapa de calentamiento y reducción dependen del grado de reducción del espacio del horno; a menor utilización más corto será el tiempo de procesamiento. El grado de reducción asequible es un 30%, al cual aspectos económicos puntuales necesitan ser tomados en consideración. Un grado de reducción mayor implica un mayor costo de energía y una eliminación más eficiente del cinc, plomo, y cadmio proveniente de la carga. El material reducido es abultado desde el horno al refrigerador, donde es enfriado en una atmósfera deficiente en oxígeno. Después el producto es mecánicamente tratado para permitir la subsecuente separación magnética. El polvo eliminado y colectado es además sometido a separación magnética para producir el concentrado de cinc final.

Ejemplo 2 Tecnología de refinamiento de residuos metálicos usando reducción en estado sólido y una alimentación continua de residuos al horno rotatorio

El equipo y tecnología han sido diseñados para asegurar un máximo de eficiencia térmica y un mínimo de oxidación, dentro de límites razonables, de la carga y del material reducido previamente. Los requerimientos que son necesarios satisfacer incluyen una llama de alta temperatura, buena transferencia de calor, y una atmósfera fuertemente reductora en el horno. El equipo propuesto reúne estos requerimientos tal y como siguen: la llama de alta temperatura de es alcanzada con un quemador de combustibles fósiles en combinación con oxígeno o una mezcla de oxígeno y aire precalentado. La atmósfera de reducción es creada mediante la adición directa a la carga de hulla pulverizada, antracita, coque, o semicoque, u otras sustancias con un alto contenido de carbono. Los materiales de reducción se añaden en más de una cantidad suficiente de manera que el mezclado de las sustancias de entrada pueda tener lugar además en el horno durante el proceso. La temperatura de reducción en el extremo del horno no excede 1200 °C. La carga puede estar en la forma de perlas o briquetas, o se introduce en el horno sin ningún pre-tratamiento o secado inicial. La carga se alimenta continuamente.

La transferencia de calor intensa se logra mediante la combinación de varios mecanismos de transferencia de calor, tales como:

- calentamiento directo de la carga del horno mediante una llama en la etapa cuando la temperatura de la superficie de la carga es todavía baja;
- radiación de calor de la llama sobre la carga y el revestimiento del horno tras alcanzar la temperatura de la superficie de carga de 900 °C;
- otros mecanismos de transferencia de calor asociados con el funcionamiento del horno rotativo:
  - agitación de la carga, en la que aparece un material relativamente fresco sobre o cerca de la superficie y el material calentado se transfiere desde la superficie dentro del volumen de la carga;
  - la acción de mezclar mueve el material calentado dentro del volumen de la carga, donde este transfiere calor al material más frío que lo rodea;
  - el calor del revestimiento del horno es transferido al material de carga que entra en contacto con el cuerpo del horno.

El proceso propuesto se basa en la reducción de una carga sólida de residuos metálicos que contienen zinc, plomo, cadmio y con un contenido de agregados entre 0.1 y 5% usando combustibles fósiles en un medio de transferencia de calor intenso. Las condiciones apropiadas del proceso son creadas en un horno tipo rotativo continuo. La transferencia de calor suficiente es facilitada mediante la agitación de la carga y la gran área disponible para la transferencia de calor: la carga es calentada no solo desde el tope, pero además desde el fondo.

El método usado para el procesamiento del residuo metálico es similar al usado para el procesamiento de minerales en hornos rotatorios. La diferencia fundamental en la parte del procesamiento de residuos es el contenido relativamente alto de cinc y las salidas del proceso, las cuales son DRI y concentrado de cinc. El horno para el caso analizado se ha ampliado con una relación L/D (longitud a diámetro interno del horno) mayor que 10. El tiempo de procesamiento del residuo metálico depende de la forma en que la carga se mezcla con los agentes de reducción basados en carbono y puede ser cualquiera entre 0.5 a 20 horas. Siguiendo la etapa inicial de precalentamiento, se establece la reducción rápida, acompañada por la evaporación de cinc y plomo. La duración de la etapa de calentamiento y reducción dependen del grado de utilización del espacio del horno; una menor utilización menor implica un tiempo de procesamiento más corto. El grado de reducción promedio es excede el 30%, y es usualmente tan alto como 60%. Sin embargo, para la eliminación básica, una metalización alrededor de un 30% es suficiente. En el ajuste del índice de reducción objetivo, el aspecto económico del proceso debe ser tomado en consideración. Un valor de reducción mayor implica un costo de energía superior, mientras el grado de eliminación de cinc, plomo y cadmio no es significativamente afectado. El material reducido es abultado desde el horno a un refrigerador continuo, donde es enfriado en una atmósfera deficiente de oxígeno. Después el producto es tratado mecánicamente para permitir la separación magnética subsecuente. El polvo eliminado y colectado es además sometido a separación magnética para producir el concentrado final en Zn.

Ejemplo 3 Tecnología de refinamiento de residuos metálicos usando una reducción en estado semilíquido o líquido y un suministro de residuo por lote

El equipo y tecnología han sido diseñados para asegurar un máximo de eficiencia térmica y un mínimo de oxidación, dentro de límites razonables, de la carga y del material reducido previamente. Los requerimientos que son necesarios satisfacer incluyen una llama de alta temperatura, buena transferencia de calor, y una atmósfera fuertemente reductora en el horno. El equipo propuesto reúne estos requerimientos tal y como siguen: la llama de alta temperatura es alcanzada con un quemador de combustibles fósiles en combinación con oxígeno o una mezcla de oxígeno y aire precalentado. La atmósfera de reducción es creada mediante la adición de hulla pulverizada, antracita, coque, o semicoque, u otras sustancias con un alto contenido de carbono. Los materiales de reducción se añaden en más de una cantidad suficiente. En el caso de este equipo, la temperatura de reducción excede de 1150 °C.

La transferencia de calor intensa se logra mediante la combinación de varios mecanismos de transferencia de calor, tales como:

- calentamiento directo de la carga del horno mediante una llama en la etapa cuando la temperatura de la superficie de la carga es todavía baja;
- radiación de calor de la llama sobre la carga y el revestimiento del horno tras alcanzar la temperatura de la superficie de carga de 900 °C;
- agitación de la escoria altamente viscosa ;
- otros mecanismos de transferencia de calor asociados con el funcionamiento del horno rotativo:

- agitación de la carga, en la que aparece un material relativamente fresco en o cerca de la superficie y el material calentado se transfiere desde la superficie dentro del volumen de la carga;
- la acción de mezclar mueve el material calentado dentro del volumen de la carga, donde este transfiere calor al material más frío que lo rodea;
- el calor del revestimiento del horno se transfiere al material de carga que entra en contacto con el cuerpo del horno.

El proceso propuesto está basado en la reducción de una carga sólida de residuos metálicos que contienen cinc, plomo y cadmio, con un contenido agregado de la misma en la escoria en un estado de pastoso a líquido entre 0.5 y 5% usando combustibles fósiles en un ambiente de transferencia de calor intensa. Las condiciones apropiadas del proceso son creadas en un horno tipo rotativo. La transferencia de calor suficiente es facilitada mediante la agitación de la carga y la gran área disponible para la transferencia de calor: la carga es calentada no solo desde el tope, pero además por el fondo

El método utilizado para el procesamiento de residuos metálicos es similar al usado para el procesamiento de mineral en los hornos rotativos. La diferencia principal en el lado del procesamiento de residuos es el contenido de cinc relativamente alto y las salidas del proceso, que son de HDR y concentrado de cinc. El horno para el caso discutido tiene una relación de L/D (longitud a diámetro interno del horno) menor que 10. La carga debe modificarse de manera que la relación  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  sea 0.05 a 1.5 y la relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  sea 1.5 a 8. Esto puede ser alcanzado mediante la adición de materiales finamente granulados de  $\text{SiO}_2$ -tales como fracciones finas de arena sílice o varios residuos ricos en  $\text{SiO}_2$  por ejemplo cenizas voladoras de la planta energética. Las ventajas de las cenizas voladoras son su bajo costo, granulación muy fina, y la presencia de carbón apropiada para propósitos de reducción.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ , o  $\text{MgO}$  o sus mezclas también se pueden añadir a la carga del horno. La composición química de la escoria debe ser modificada para asegurar que la viscosidad de la escoria sea alta, con una consistencia pastosa parecida a la miel. La molida de la escoria en un horno tipo horno rotativo ayuda a facilitar la transferencia de masa intensa dentro del horno y consecuentemente consolida las gotas del material reducido. La escoria es saturada con materiales prevaleciendo en la composición del revestimiento del horno, el cual reduce la interacción potencial entre la escoria y el revestimiento. La desventaja del uso de la escoria de baja basicidad es el incremento del contenido de azufre del material reducido. El contenido de azufre puede ser ajustado mediante la selección de materiales adecuados de entrada, en particular de agentes reductores. La duración del proceso depende en la manera en la cual la carga y el agente reductor basado en carbono son mezclados, y estos pueden tomar cualquier valor entre 0.5 y 20 horas. Siguiendo la etapa inicial de precalentamiento, se establece la reducción rápida, con la subsecuente carburación progresiva del hierro y su fusión. Las diminutas gotas de metal en la escoria se consolidan para formar gotas más grandes. La duración de las etapas de calentamiento y reducción dependen del grado de utilización del espacio del horno; mientras menor sea la utilización más corto será el tiempo del proceso. El grado de reducción es típicamente entre 30 y 60%, pero unos índices de metalización mayores no representan un problema para el equipo. En el ajuste del índice de reducción objetivo, el aspecto económico del proceso debe ser tomado en consideración. Un valor de reducción mayor implica un costo de energía superior, mientras el grado de eliminación de cinc, plomo y cadmio no es significativamente afectado. El material reducido es abultado desde el horno hacia una caja refrigerante, donde este es enfriado conjuntamente con la escoria pastosa en una atmósfera deficiente en oxígeno. Después el producto es tratado mecánicamente para permitir la separación magnética subsecuente. El metal reducido puede ser además procesado para obtener hierro en un alto horno o prensado en bloques y usado como un remplazo de pedazos en el proceso de fabricación de acero. El polvo eliminado y colectado es además sometido a separación magnética para producir el concentrado final en Zn.

Ejemplo 4 Tecnología para el refinamiento de residuos metálicos usando reducción en estado semilíquido o líquido y un suministro continuo hacia un horno rotativo

El equipo y tecnología han sido diseñados para asegurar un máximo de eficiencia térmica y un mínimo de oxidación, dentro de límites razonables, de la carga y del material reducido previamente. Los requerimientos que son necesarios satisfacer incluyen una llama de alta temperatura, buena transferencia de calor, y una atmósfera fuertemente reductora en el horno. El equipo propuesto reúne estos requerimientos tal y como siguen: la llama de alta temperatura es alcanzada con un quemador de combustibles fósiles en combinación con oxígeno o una mezcla de oxígeno y aire precalentado. La atmósfera de reducción es creada mediante la adición de hulla pulverizada, antracita, coque, o semicoque, u otras sustancias con un alto contenido de carbono. Para asegurar un alto grado de reducción, los materiales de reducción se añaden en más de una cantidad suficiente. En el caso de este equipo, la temperatura de reducción excede de 1150 °C.

La transferencia de calor intensa se logra mediante la combinación de varios mecanismos de transferencia de calor, tales como:

- calentamiento directo de la carga del horno mediante una llama en la etapa cuando la temperatura de la superficie de la carga es todavía baja;
- radiación de calor de la llama a la carga y el revestimiento del horno tras alcanzar la temperatura de la superficie de carga de 900 °C;

- agitación de la escoria altamente viscosa ;
- otros mecanismos de transferencia de calor asociados con el funcionamiento del horno rotativo:
  - agitación de la carga, donde aparece un material relativamente fresco en o cerca de la superficie y el material calentado es transferido desde la superficie dentro del volumen de la carga;
  - la acción de mezclar mueve el material calentado dentro del volumen de la carga, donde este transfiere calor al material más frío que lo rodea;
  - el calor del revestimiento del horno se transfiere al material de carga que entra en contacto con el cuerpo del horno

5 El proceso propuesto está basado en la reducción de una carga sólida de residuos metálicos que contienen cinc, plomo y cadmio, con un contenido agregado de los mismos en la escoria en un estado de pastoso a líquido entre 0.5 y 5% usando combustibles fósiles en un ambiente de transferencia de calor intensa. Las condiciones adecuadas del proceso son creadas en un horno tipo horno rotativo. La transferencia de calor suficiente es facilitada mediante la agitación de la carga y la gran área disponible para la transferencia de calor: la carga es calentada no solo desde el tope, pero además por el fondo.

10 El método usado por el procesamiento de los residuos metálicos es similar al usado para el procesamiento de minerales en hornos rotatorios nodulizantes. Las principales diferencias en el lado del procesamiento de residuos son el relativo alto contenido de cinc en la carga del horno, la gran cantidad de fracciones de polvo (excede el 2% del peso de la carga), y el diseño del horno donde la relación de L/D (longitud a diámetro interno del horno) es mayor de 10. La carga debe modificarse de manera que la relación  $\text{CaO/SiO}_2$  sea 0.05 a 1.5 y la relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  sea 1.5 a 8. Esto puede ser alcanzado mediante la adición de materiales finamente granulados de  $\text{SiO}_2$ -tales como fracciones finas de arena sílice o varios residuos ricos en  $\text{SiO}_2$  por ejemplo cenizas voladoras de la planta energética. Las ventajas de las cenizas voladoras son su bajo precio, granulación muy fina, y la presencia de carbón apropiada para propósitos de reducción.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ , o  $\text{MgO}$ , o sus mezclas también se pueden añadir a la carga del horno. La composición química de la escoria debe ser modificada para asegurar que la viscosidad de la escoria sea alta (la consistencia de la escoria debe ser pastosa). La molida de la escoria en un horno tipo horno rotativo ayuda a facilitar la intensa transferencia de masa deseada dentro del horno y consecuentemente consolida las gotas del material reducido. La escoria es saturada con materiales prevaleciendo en la composición del revestimiento del horno, el cual reduce la interacción química entre la escoria y el revestimiento. La desventaja del uso de la escoria de baja basicidad es el incremento del contenido de azufre del material reducido. El contenido de azufre puede ser ajustado mediante la selección de materiales de entrada adecuados, en particular de agentes reductores. La duración del proceso depende en la manera en la cual la carga y el agente reductor basado en carbono son mezclados, y estos pueden tomar cualquier valor entre 0.5 y 20 horas. Siguiendo la etapa inicial de precalentamiento, se establece la reducción rápida, con la subsecuente carburación progresiva del hierro y su fusión. Las diminutas gotas de metal en la escoria se consolidan para formar gotas más grandes. La duración de las etapas de calentamiento y reducción dependen del grado de utilización del espacio del horno; mientras menor sea la utilización más corto será el tiempo del proceso. El grado de reducción es típicamente entre 30 y 60%, pero unos índices de metalización mayores no representan un problema para el equipo. En el ajuste del índice de reducción objetivo, el aspecto económico del proceso debe ser tomado en consideración. Un valor de reducción mayor implica un costo de energía superior, pero los resultados del proceso de eliminación de cinc, plomo y cadmio serán mejores. El material reducido es abultado desde el horno hacia una caja refrigerante, donde este es enfriado conjuntamente con la escoria pastosa en una atmósfera deficiente en oxígeno. Después el producto es tratado mecánicamente para permitir la separación magnética subsecuente. El metal reducido puede ser además procesado para obtener hierro en un alto horno o prensado en bloques y usado como un remplazo para pedazos en el proceso de fabricación de acero. El polvo eliminado y colectado es además sometido a separación magnética para producir el concentrado final en Zn.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de refinamiento de residuos metálicos ricos en hierro y originados a partir de lingotes de hierro o de la  
 10 fabricación de acero o del procesamiento de metales, tales como suspensiones o polvo proveniente de la fabricación  
 de acero, es decir, la reducción del contenido de cinc y plomo usando combustibles fósiles en condiciones de  
 transferencia de calor intensa con una eficiencia térmica general incrementada y un transporte de masa acelerado,  
**donde** los residuos metálicos de entrada inapropiados para la utilización inmediata en altos hornos o para la  
 aglomeración producto del contenido de cinc, es decir, un contenido que excede de 0.015%, o la presencia de  
 sustancias no polares se mezclan primero con agentes reductores, fundentes y agentes aglomerantes, donde el  
 contenido de los residuos metálicos es al menos 40%;
- 15 la granulación original se modifica de manera que el peso de las partículas con un diámetro que excede de 1 mm es al  
 menos un 50% del total del peso de los residuos; el ambiente de reducción es creado mediante la adición de  
 materiales con un alto contenido de carbono;
- la cantidad del agente de reducción, en kg de carbón en el agente de reducción por kg del residuo metálico, se calcula  
 en base a la composición de los residuos libres de fundentes y agentes aglutinantes como sigue:

$$\mathbf{C \text{ (kg por kg de residuo metálico)} \geq 0.0065 [(0.05\% \text{ Pb} + 0.15\% \text{ Cd} + 0.15\% \text{ Zn} + 0.16\% \text{ MnO} + 0.17\% \text{ FeO} + 0.23\% \text{ Fe}_2\text{O}_3) - \% \text{C}]}$$

- 20 el proceso de tratamiento de residuos se lleva a cabo en un horno rotativo o una batería de hornos rotativos con  
 alimentación de carga por lotes o continua; en general, se prefieren hornos continuos debido a su mayor eficiencia  
 operativa;
- 25 la alta temperatura necesaria para facilitar las reacciones/procesos endotérmicos de reducción y evaporación se alcanza  
 usando un quemador de combustibles fósiles donde el tipo de combustible no es específico para el proceso y el proceso de  
 quemado es apoyado por oxígeno, una mezcla de aire y oxígeno, o aire precalentado donde la cantidad de oxígeno es  
 mayor que la de combustible mediante al menos un 2%;
- 30 el horno rotativo se llena con una carga que ocupa no más del 50% del espacio interno del horno de manera que pueden  
 crearse dos zonas naturalmente separadas, es decir, las zonas de oxidación y la de reducción/precalentamiento.  
 la zona de reducción y de precalentamiento se encuentran en la parte del horno ocupada por la carga en fase condensada  
 donde la carga se somete a calentamiento y reducción para dar lugar a un producto de salida con un contenido  
 significativamente reducido de cinc, plomo, y cadmio y un contenido de hierro mayor;
- 35 la zona de oxidación se encuentra por encima de la carga del horno donde los productos de combustión se acumulan y los  
 productos de reducción tales como el monóxido de carbono y metales gaseosos (p.ej. cinc) se someten a un proceso de  
 oxidación, dando lugar a un incremento de gases y polvo, donde la acción de oxidación se facilita mediante el suministro de  
 oxígeno o aire precalentado hacia el espacio por encima de la carga del horno, y donde la cantidad de oxígeno/aire  
 suministrada es tal que el contenido de CO<sub>2</sub> en los productos de combustión al final del horno es al menos el doble de alto  
 del de CO;
- 40 en la disposición descrita anteriormente, se forma un frente de combustión en la interface de las zonas mencionadas donde  
 los productos de reducción se oxidan por el oxígeno libre que se encuentra en la atmósfera del horno para producir CO<sub>2</sub> y  
 óxidos sólidos de cinc, plomo y cadmio;
- en la disposición anterior, los gases pueden fluir libremente por encima de la carga del horno, lo cual facilita la extracción de  
 la fracción de polvo rica en cinc, plomo, y cadmio del espacio del horno.  
 el proceso actual que incluye los siguientes pasos y/o efectos pueden ser descritos de la manera siguiente:

- 45
- la transferencia intensa de masa y calor se facilita mediante la rotación del horno a una velocidad de al menos 0.1 r.p.m. a una temperatura por encima de los 400 °C;
  - la carga del horno se seca y precalienta primero;
  - el procesamiento de residuos comienza cuando se alcanzan las temperaturas de reducción y evaporación, respecto a los óxidos sólidos, la temperatura recomendada es de 900 a 1350 °C, para la reducción de óxidos en un estado pastoso o líquido, temperaturas mayores de 1150 °C;
  - el tiempo del proceso depende del contenido de cinc final requerido determinado regularmente por análisis químicos repetidos.
- 50

- 55 2. El método de refinación de residuos metálicos como el de la reivindicación 1 anterior, **donde** el producto de salida es  
 DRI con un grado de metalización de al menos 25% (en el caso de refinación en estado sólido) o al menos 50% (en el  
 caso de refinación en estado líquido o pastoso), en donde el contenido agregado de cinc, plomo, y cadmio se reduce a  
 al menos un tercio del valor original y donde el proceso con la reducción más completa hace posible una reducción de  
 100 veces o más en el contenido de cinc, plomo y cadmio.

- 5
3. El método de refinación de residuos metálicos como el de la reivindicación 1 o 2 anteriores, **donde** el producto refinado de salida se enfría forzosamente a una velocidad de al menos 200 °C/hora y se somete posteriormente a una separación magnética, produciendo un concentrado de hierro que puede ser briquetado o usado directamente en acerías como reemplazo de chatarra o carga de aglomeración o procesado en un alto horno.
- 10
4. El método para el refinamiento de residuos metálicos como en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 anteriores, **donde** el segundo producto del proceso es el concentrado de cinc, en el cual el contenido de cinc, plomo y cadmio, es al menos 20 veces mayor que en la carga del horno original con un contenido agregado de cinc, plomo y cadmio menor que 1%; y es al menos 10 veces mayor para un contenido agregado de cinc, plomo y cadmio en la carga original del horno entre 1 y 2.5%, o al menos 25% en los casos donde el contenido agregado de cinc, plomo y cadmio en la carga está en exceso de 2.5%.
- 15
5. Los métodos para el refinamiento de residuos metálicos como en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 anteriores, **donde** el segundo producto del proceso, p. ej. el concentrado de cinc, durante el enfriamiento, está por debajo de la temperatura de 350 °C, se refina adicionalmente mediante separaciones magnéticas de manera tal que el contenido de hierro en el concentrado de Zn se reduce adicionalmente y el hierro separado se usa directamente en las acerías o se recicla en el horno rotatorio.

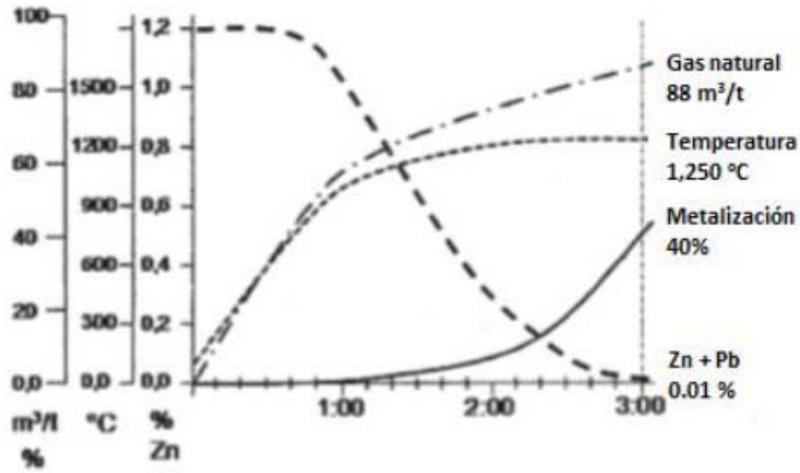


Fig. 1 Ejemplos de curvas de temperatura, contenido de Zn/Pb, y valores de metalización vs tiempo.

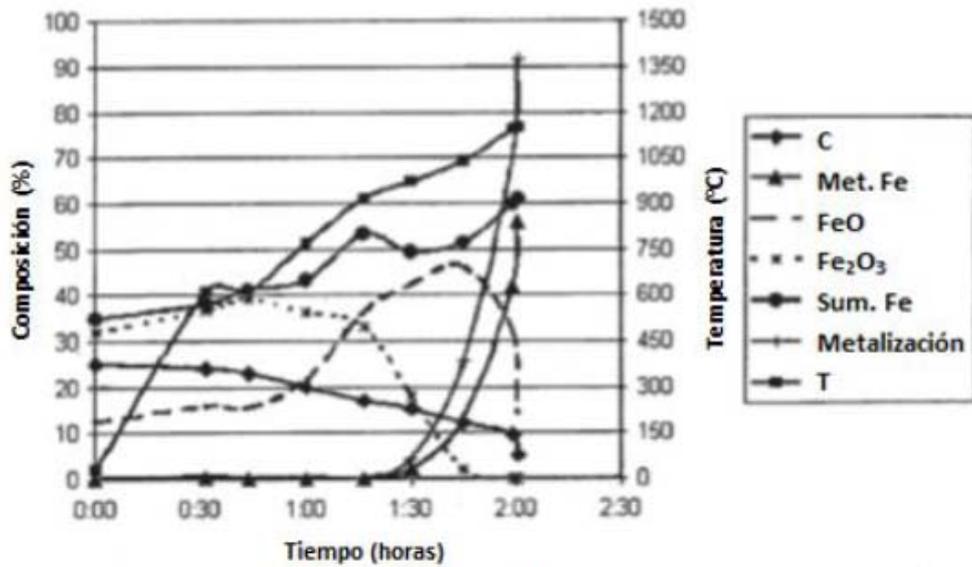


Fig. 2 Ejemplos de cambios en la composición química de varias formas del hierro y del progreso de metalización.

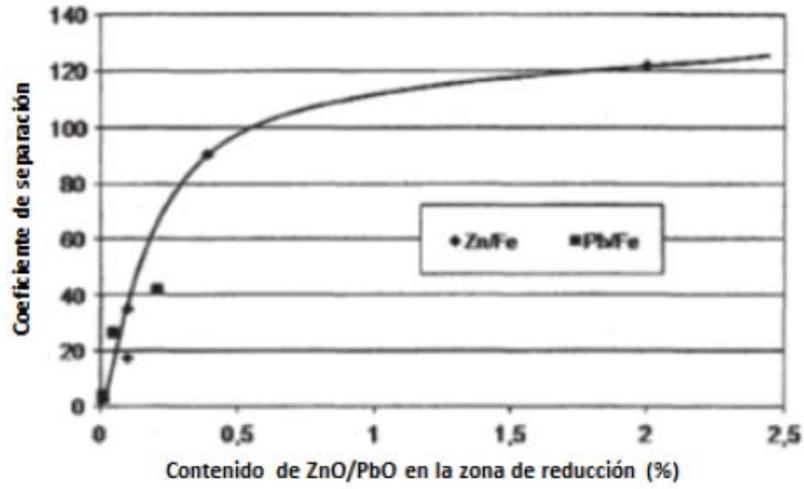


Fig. 3 Ejemplos de relaciones Zn/Fe y Pb/Fe en el polvo extraído siguiendo una separación magnética con respecto al contenido de Zn y Pb real en la carga del horno.