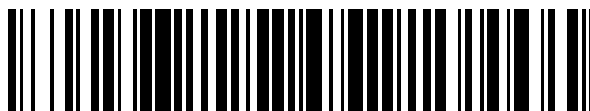


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 748 838**

51 Int. Cl.:

**C22B 3/14** (2006.01)

**C22B 19/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.02.2013 PCT/AU2013/000121**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.08.2013 WO13120132**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2013 E 13748702 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019 EP 2814993**

54 Título: **Proceso para la producción de óxido de zinc a partir de mineral**

30 Prioridad:

**15.02.2012 AU 2012900554**

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

**18.03.2020**

73 Titular/es:

**STEEL DYNAMICS INVESTMENTS, LLC (100.0%)  
7575 West Jefferson Blvd.  
Fort Wayne, IN 46804, US**

72 Inventor/es:

**SHAW, RAYMOND, WALTER**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 748 838 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

Proceso para la producción de óxido de zinc a partir de mineral

## 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a un proceso para la recuperación de zinc en forma de óxido de zinc de área superficial controlada de alta pureza a partir de minerales que contienen zinc, y más particularmente tanto minerales de zinc sulfurosos, tales como minerales de sulfuro de zinc como minerales de zinc oxidados tales como  
10 minerales de silicato de zinc o minerales de carbonato de zinc. Se debe apreciar que el proceso de la presente invención se puede utilizar para producir óxido de zinc a partir de cualquier mineral de zinc oxidado adecuado tal como mineral a base de smithsonita que contiene carbonatos de zinc y/o hemimorfita u mineral a base de silicato similar y/o mineral de óxido de zinc a base de zincita.

## 15 Antecedentes de la invención

La siguiente discusión de los antecedentes de la invención está destinada a facilitar una comprensión de la invención. Sin embargo, se debe apreciar que la discusión no es un reconocimiento o admisión de que cualquiera de los materiales mencionados fue publicado, conocido o parte del conocimiento general común en la fecha de  
20 prioridad de la solicitud.

El proceso dominante actual para producir metal de zinc es extraer minerales de sulfuro de zinc, producir un concentrado de sulfuro de zinc (ZnS), que normalmente contiene algo de hierro y plomo como impurezas, y luego tratar este concentrado para hacer metal de zinc. El óxido de zinc puede ser producido por tratamiento térmico del  
25 metal de zinc.

El proceso convencional para convertir el concentrado de ZnS en zinc metálico implica quemar el concentrado de ZnS en aire/oxígeno (tostado) para producir un calcinado rico en ZnO y luego lixiviar el calcinado rico en ZnO en ácido sulfúrico para preparar un electrolito de zinc a partir del cual el metal de zinc se produce por electrólisis.  
30

El calcinado rico en ZnO también contiene algo de contenido de zinc y hierro, en forma de ferrita de zinc y algo de óxido de plomo. Estos no se disuelven completamente en el electrolito. Por lo tanto, se utiliza un tratamiento adicional para recuperar el zinc y separar el hierro y el plomo normalmente en una forma mixta de sulfato de óxido, como la paragoetita. Este material puede ser tratado en una fundición de plomo para hacer un sólido  
35 ambientalmente adecuado para la descarga y para recuperar el plomo y el zinc contenidos.

Este proceso de producción de metal de Zn convencional es bastante efectivo para manipular plomo, hierro y zinc residual. Sin embargo, el proceso se puede ver obstaculizado por la presencia de un residuo de sulfato que restringe cómo este material se puede procesar ya que el sulfato se debe calentar y expulsar, luego capturarse y convertirse en ácido. Las fundiciones de plomo no prefieren este residuo de sulfato ya que el calentamiento requerido utiliza una energía considerable y el gas producido tiene un bajo contenido de azufre y no es adecuado para un tratamiento eficiente en plantas de ácido convencionales.  
40

El proceso de producción de zinc convencional es muy adecuado para fabricar metal de zinc a partir de concentrado de zinc de baja impureza. Sin embargo, el proceso no es tan eficiente desde el punto de vista energético ni económicamente atractivo para producir ZnO, ya que requiere una energía considerable y un equipo solo para convertir el ZnO en calcinado en metal Zn y luego volver a oxidarlo en el óxido.  
45

Adicionalmente, los minerales de zinc oxidados, particularmente los minerales a base de silicato de zinc y carbonato de zinc, pueden ser difíciles de tratar económicamente utilizando el procesamiento convencional discutido anteriormente, ya que a menudo tienen un grado demasiado bajo para tratar directamente en fundiciones, pero son difíciles de tratar hidrometalúrgicamente en circuitos de ácidos debido a la presencia de sílice y/o carbonatos.  
50

Por lo tanto, sería deseable proporcionar un proceso alternativo para producir tanto óxido de zinc como, si se desea zinc metal, a partir de un mineral que contiene zinc.  
55

La solicitud de patente internacional PCT/AU2011/001507 (publicada como publicación de patente internacional WO2012/068620) a nombre del mismo solicitante describe un proceso para recuperar zinc a partir de un material que contiene zinc, tal como polvo EAF, utilizando un lixivante que comprende una mezcla acuosa de NH<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub>Cl, o equivalente iónico, que tiene una concentración de NH<sub>4</sub>Cl entre 10 y 150 g/L de H<sub>2</sub>O y una concentración de NH<sub>3</sub> entre 20 g/L de H<sub>2</sub>O y 250 g/L de H<sub>2</sub>O. El lixiviado resultante que contiene zinc se depura del amoníaco para producir un licor depurado que incluye un precipitado que contiene zinc. El licor depurado tiene una concentración de NH<sub>3</sub> de entre 7 y 30 g/L de H<sub>2</sub>O. El zinc que contiene se puede recuperar del precipitado utilizando uno o una combinación de hidrólisis o tostado a alta temperatura.  
60

65

El solicitante ha refinado aún más este proceso para uso en la recuperación de óxido de zinc a partir de minerales que contienen zinc, y más particularmente minerales de zinc oxidados y minerales de sulfuro de zinc.

5 Por lo tanto, sería deseable proporcionar un proceso mejorado o al menos alternativo que pueda recuperar los valores de zinc a partir de un mineral que contiene zinc, y en particular minerales oxidados que contienen minerales de zinc y sulfuro.

10 Se debe entender que cualquier metal tal como zinc, manganeso, hierro, plomo, etc., se debe entender que incluye cualquier forma química (es decir, metal, sales, complejos, quelatos, etc.) o forma iónica.

15 También se debe entender que todas las concentraciones utilizadas en esta especificación se basan en g/Kg de H<sub>2</sub>O o g/L de H<sub>2</sub>O y no en g/L del volumen real de licor. Se debe apreciar que g/L del volumen real de licor no refleja realmente la química del proceso de la presente invención ya que el NH<sub>3</sub> y los altos niveles de sales afectan el volumen, especialmente el NH<sub>3</sub> cuando está presente en valores altos.

20 La solicitud de patente internacional WO2010/108212 se refiere a un método para lixiviar zinc a partir de un mineral de carbonato que contiene zinc. El método divulgado en esta solicitud de patente requiere un método de tres etapas que incluye tostar un mineral de carbonato que contiene zinc a más de 300 y menos de 900 grados, someter el mineral tostado a lixiviación alcalina o ácida acuosa para producir una solución acuosa de zinc, y luego participar en una etapa de recuperación de zinc a partir de la solución acuosa de zinc. El documento D8 proporciona la recuperación de óxido de zinc solo a partir de minerales de carbonato de zinc.

25 De acuerdo con lo anterior, subsiste la necesidad de procesos para recuperar óxido de zinc a partir de minerales que contienen zinc, que incluyen minerales tanto carbonatos como no carbonatos.

Resumen de la invención

30 Un primer aspecto de la presente invención proporciona un proceso para recuperar óxido de zinc a partir de un mineral de zinc, el proceso incluye las etapas de:

Tostar el mineral de zinc en atmósfera de aire/oxígeno para producir un calcinado rico en ZnO,

35 lixiviar el calcinado rico en ZnO con un lixiviante alcalino que comprende una mezcla acuosa de NH<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub>Cl, o equivalente iónico, que tiene una concentración de NH<sub>4</sub>Cl de entre 10 g/L y 150 g/L de H<sub>2</sub>O y una concentración de NH<sub>3</sub> de entre 20 g/L de H<sub>2</sub>O y 250 g/L de H<sub>2</sub>O, para producir un lixiviado que contiene zinc y un residuo sólido;

40 depurar el amoniaco a partir del lixiviado para producir un licor depurado que incluye un precipitado que contiene zinc, el licor depurado tiene una concentración de NH<sub>3</sub> de entre 7 y 30 g/L de H<sub>2</sub>O;

separar el precipitado que contiene zinc del licor depurado; y

convertir el precipitado que contiene zinc recuperado en óxido de zinc utilizando una o ambas de las etapas de:

45 tostar el precipitado que contiene zinc a una temperatura de entre 400 a 900°C; o hidrólisis del precipitado que contiene zinc en agua que tiene una temperatura de entre 80 y 300°C.

50 Los solicitantes han descubierto que el proceso divulgado en la solicitud de patente internacional PCT/AU2011/001507 (publicada como publicación de patente internacional WO2012/068620, se debe entender que el contenido se debe incorporar a la especificación por esta referencia) se puede adaptar para la producción de ZnO directamente a partir de mineral de zinc. El proceso resultante es ventajoso porque requiere menos energía y equipo que el proceso convencional de lixiviación con ácido sulfúrico y el proceso de recuperación de electrólisis.

55 Se debe apreciar que el proceso de la presente invención se puede utilizar para producir óxido de zinc a partir de cualquier mineral que contenga zinc adecuado. Los minerales de zinc adecuados incluyen, pero no se limitan a, minerales de zinc tanto sulfurosos como oxidados, e incluyen (pero no se limitan a) minerales tales como minerales de silicato de zinc y minerales de carbonato de zinc.

60 Para el proceso de la presente invención, el mineral de zinc se extrae, y luego preferiblemente se somete a diversos procesos de trituración tales como trituración, molido y/o molienda para formar un polvo. El mineral de zinc se concentra preferiblemente utilizando cualquier número de procesos convencionales de concentración y separación (por ejemplo, proceso de flotación como flotación por espuma o similar) para formar un concentrado de mineral de zinc.

65 Posteriormente, en algunas realizaciones, el mineral triturado y/o concentrado se puede lixiviar directamente. La lixiviación directa del mineral de zinc (preferiblemente triturada y/o concentrada) es particularmente aplicable para minerales de silicato de zinc (por ejemplo, ZnSi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), cualquier contenido de mineral de óxido de zinc y, en algunos

casos, minerales de carbonato de zinc (por ejemplo,  $ZnCO_3$ ). Sin embargo, otros minerales que contienen zinc pueden requerir un preprocesamiento adicional antes de la etapa de lixiviación.

5 La etapa de tostado de mineral de zinc se puede realizar a cualquier temperatura adecuada que convierta una porción deseada, y más preferiblemente convierta sustancialmente el contenido oxidado del mineral de zinc en óxido de zinc. La temperatura de tostado depende de la composición del mineral de zinc. En algunas realizaciones, el mineral de zinc se tuesta a temperaturas entre 200 y 1000°C. Para minerales de carbonato de zinc, se prefiere que la temperatura de tostado del mineral de zinc esté entre 200 y 600°C, y preferiblemente <400°C y más preferiblemente <350°C, y lo más preferiblemente en el rango de 250 a 350°C para descomponer el carbonato de zinc para permitir la producción directa de cristales que contienen zinc sustancialmente libres de carbonato que luego se pueden convertir en ZnO de alta pureza. El carbonato de zinc se descompone fácilmente cuando se calienta a más de 200°C, pero se pueden utilizar temperaturas más altas para mejorar la velocidad de reacción y permitir equipos más pequeños. Para minerales de sulfuro, se prefiere una temperatura más alta, normalmente entre 10 15 500 y 1000°C y más preferiblemente entre 600 y 900°C para oxidar el sulfuro para dar un calcinado de ZnO para cargar a la sección de lixiviación para producir ZnO de alta pureza. El calcinado rico en ZnO se lixivia bajo las mismas condiciones que el concentrado de mineral de zinc con el lixivante alcalino para producir el lixiviado que contiene zinc y el residuo sólido. En algunas realizaciones, se podría utilizar una mezcla de mineral de zinc y calcinado rico en ZnO como carga de Zn para la etapa de lixiviación.

20 El procesamiento de minerales de sulfuro de zinc y minerales de carbonato de zinc proporciona un segundo aspecto de la presente invención. El segundo aspecto proporciona un proceso para recuperar óxido de zinc, preferiblemente a partir de un concentrado de mineral de sulfuro de zinc o un concentrado de mineral de carbonato de zinc. El proceso incluye las etapas de:

25 tostar un concentrado de mineral de zinc en atmósfera de aire/oxígeno para producir un calcinado rico en ZnO;

lixiviar el calcinado rico en ZnO con un lixivante alcalino que comprende una mezcla acuosa de  $NH_3$  y  $NH_4Cl$ , o equivalente iónico, que tiene una concentración de  $NH_4Cl$  de entre 10 g/L y 150 g/L de  $H_2O$  y una concentración de  $NH_3$  de entre 20 g/L de  $H_2O$  y 250 g/L de  $H_2O$ , para producir un lixiviado que contiene zinc y un residuo sólido; 30 depurar el amoníaco a partir del lixiviado para producir un licor depurado que incluye un precipitado que contiene zinc, el licor depurado tiene una concentración de  $NH_3$  de entre 7 y 30 g/L de  $H_2O$ ;

separar el precipitado que contiene zinc a partir del licor depurado; y convertir el precipitado que contiene zinc recuperado en óxido de zinc utilizando una o ambas de las etapas de:

35 tostar el precipitado que contiene zinc a una temperatura de entre 400 a 900°C; o

hidrólisis del precipitado que contiene zinc en agua que tiene una temperatura de entre 80 y 300°C.

40 El procesamiento de algunos minerales de carbonato de zinc proporciona un tercer aspecto de la presente invención. el tercer aspecto proporciona un proceso para recuperar óxido de zinc a partir de un mineral de carbonato de zinc. El proceso incluye las etapas de:

45 tostar un concentrado de mineral de carbonato de zinc en atmósfera de aire/oxígeno para producir un calcinado rico en ZnO

lixiviar el calcinado rico en ZnO con un lixivante alcalino que comprende una mezcla acuosa de  $NH_3$  y  $NH_4Cl$ , o equivalente iónico, que tiene una concentración de  $NH_4Cl$  de entre 10 g/L y 150 g/L de  $H_2O$  y una concentración de  $NH_3$  de entre 20 g/L de  $H_2O$  y 250 g/L de  $H_2O$ , para producir un lixiviado que contiene zinc y un residuo sólido; 50

depurar el amoníaco a partir del lixiviado para producir un licor depurado que incluye un precipitado que contiene zinc, el licor depurado tiene una concentración de  $NH_3$  de entre 7 y 30 g/L de  $H_2O$ ;

55 separar el precipitado que contiene zinc a partir del licor depurado; y convertir el precipitado que contiene zinc recuperado en óxido de zinc utilizando las etapas de:

hidrólisis del precipitado que contiene zinc en agua que tiene una temperatura de entre 80 y 300°C; y

60 tostar (calcinar) el precipitado que contiene zinc a una temperatura de menos de 450°C.

Una vez más, la etapa de tostado del concentrado de mineral de zinc se puede realizar a cualquier temperatura adecuada que convierta una porción deseada, y más preferiblemente convierte sustancialmente el contenido oxidado del concentrado de mineral de zinc a óxido de zinc. Como se detalló anteriormente, la temperatura de tostado depende de la composición del mineral de zinc y del concentrado producido a partir del mismo.

65

Un cuarto aspecto de la presente invención proporciona un proceso para recuperar óxido de zinc a partir de un mineral de sulfuro de zinc o concentrado de mineral de sulfuro de zinc, el proceso incluye las etapas de:

5 Tostar el mineral de sulfuro de zinc o concentrado de mineral de sulfuro de zinc en atmósfera de aire/oxígeno para producir un calcinado rico en ZnO,

10 lixiviar el mineral de sulfuro de zinc o concentrado de mineral de sulfuro de zinc con un lixiviante alcalino que comprende una mezcla acuosa de  $\text{NH}_3$  y  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , o equivalente iónico, que tiene una concentración de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  de entre 10 g/L y 150 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$  y una concentración de  $\text{NH}_3$  de entre 20 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$  y 250 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$ , para producir un lixiviado que contiene zinc y un residuo sólido;

depurar el amoniaco a partir del lixiviado para producir un licor depurado que incluye un precipitado que contiene zinc, el licor depurado tiene una concentración de  $\text{NH}_3$  de entre 7 y 30 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$ ;

15 separar el precipitado que contiene zinc a partir del licor depurado; y convertir el precipitado que contiene zinc recuperado en óxido de zinc utilizando una o ambas de las etapas de:

tostar el precipitado que contiene zinc a una temperatura de entre 400 a 900°C; o

20 hidrólisis del precipitado que contiene zinc en agua que tiene una temperatura de entre 80 y 300°C.

25 Por lo tanto, el proceso de cada aspecto de la presente invención utiliza un lixiviante basado en amonio alcalino para lixiviar selectivamente el zinc directamente de minerales de zinc, particularmente un mineral de zinc oxidado, o de un calcinado rico en ZnO producido por la calcinación del mineral de zinc. El proceso general deja predominantemente zinc en solución en el lixiviado resultante. Mediante la selección particular de la composición lixiviante y el control particular de la etapa de depuración de amonio, se puede producir una solución de zinc que puede modificar la solubilidad del zinc mediante depuración de amoniaco a una concentración y pH de amoniaco seleccionados que faciliten la recuperación de una porción sustancial del zinc contenido como compuestos básicos de zinc que dejan un licor de cloruro de amonio agotado en zinc para reciclar.

30 Como se discute en la solicitud de patente internacional PCT/AU2011/001507, el solicitante ha descubierto que la formulación particular de lixiviante utilizada en la etapa de lixiviación del proceso de la presente invención y las condiciones particulares de depuración dan como resultado una composición ventajosa de precipitado de zinc, en la etapa de depuración, mientras lixivia el zinc a partir de un mineral de zinc, concentrado de mineral de zinc y/o calcinado rico en ZnO en concentraciones de zinc lo suficientemente altas como para ser económicamente viables. La baja concentración de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (en comparación con los sistemas de lixiviación de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  anteriores) utilizados en el lixiviante de la etapa de lixiviación produce un precipitado sustancialmente libre de amoniaco de la etapa de depuración. Adicionalmente, el pH del licor depurado resultante y la concentración de  $\text{NH}_3$  crean las condiciones de equilibrio apropiadas dentro de ese licor para precipitar un compuesto de zinc básico deseable o una mezcla de compuestos. Por lo tanto, el proceso puede reducir el uso de, o evitar el uso de NaOH y/o adiciones de agua de dilución para ayudar a recuperar el zinc del licor depurado.

45 El proceso de la presente invención tiene como objetivo reducir, y más preferiblemente evitar sustancialmente la formación de precipitado cristalino de diclorodiamina de zinc (ZDC) después de la depuración de amoniaco. Esto se logra utilizando una concentración de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en el lixiviante de entre 10 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$  y 150 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$ . Para garantizar que se evite sustancialmente la formación de cristales de ZDC, se prefiere que la concentración de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  utilizada en el lixiviante esté entre 20 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$  y 100 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$ , preferiblemente entre 30 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$  y 90 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$ , y lo más preferiblemente aproximadamente 50 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$ .

50 La concentración de  $\text{NH}_3$  en el lixiviante se selecciona para optimizar la solubilidad del zinc en el lixiviante para extraerlo del mineral de zinc de carga, concentrado de mineral de zinc o calcinado rico en ZnO y para minimizar el coste del procesamiento posterior. La concentración de  $\text{NH}_3$  en el lixiviante está preferiblemente entre 20 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$  y 150 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$ , más preferiblemente entre 30 y 100 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$ , aún más preferiblemente aproximadamente 75 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$  e incluso aún más preferiblemente aproximadamente 50 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$ . El contenido de  $\text{NH}_3$  mejora la solubilidad de ese contenido de zinc por encima del contenido en el sistema de lixiviación de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  para concentraciones de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  entre 10 g/l de  $\text{H}_2\text{O}$  y 150 g/l de  $\text{H}_2\text{O}$ , y por lo tanto proporciona un sistema de lixiviación más eficiente.

60 La composición lixiviante acuosa de  $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$  puede comprender cualquier solución alcalina adecuada que incluya una especie de amonio, una especie de hidróxido y una especie de cloruro, y en particular formas iónicas de esas especies. Se debe entender que el lixiviante podría formarse utilizando sales iónicas equivalentes tales como mezclas de  $\text{NH}_4\text{OH}/\text{NH}_4\text{Cl}$  y que estos equivalentes iónicos están destinados a estar cubiertos en el alcance de la presente invención.

65 El lixiviante tiene un Ph >7. Un lixiviante alcalino es menos propicio para la solubilización de hierro y minimiza la solubilización de plomo y manganeso. La adición de amoniaco y/o hidróxido de amonio debería ser suficiente para

- 5 hacer que el lixiviante sea alcalino en términos de química acuosa normal. La etapa de depuración de amoníaco se realiza preferiblemente para asegurar que la concentración de amoníaco no se reduzca a un nivel en el que el pH del licor depurado sea inferior a 7. La cantidad de amoníaco libre disponible en la solución para la eliminación depende del pH. Como el amoníaco se depura para tomar el pH por debajo de 7, la eliminación selectiva de amoníaco es muy difícil y de bajo consumo energético y, por lo tanto, no se prefiere. Depurar el amoníaco a este nivel también puede hacer que se evapore una cantidad considerable de agua, lo que aumenta el uso de energía. Estas condiciones también aumentan la concentración de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  de tal manera que se pueden formar los cristales indeseables de cloruro diamina de zinc.
- 10 Se ha encontrado que la eficacia de lixiviación con este lixiviante tiene una baja dependencia de la concentración de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . La eficiencia de lixiviación requiere tiempo para maximizar la extracción. Por lo tanto, se utilizan preferiblemente dos o más etapas de lixiviación para maximizar el tiempo de contacto con los sólidos en la lixiviación, para asegurar una mayor extracción de zinc en el lixiviado. En una realización preferida, la etapa de lixiviación comprende una lixiviación de dos etapas. Cada etapa de lixiviación es preferiblemente agitada.
- 15 La etapa de lixiviación produce un lixiviado rico en zinc y un residuo sólido. En algunas realizaciones, ese residuo se puede tratar pirometalúrgicamente, por ejemplo, en un horno Waelz para producir un residuo que contiene óxido de zinc. Ese residuo que contiene óxido de zinc se puede reciclar en la etapa de lixiviación para utilizarlo como materia prima. Esto aumenta la recuperación de zinc del proceso general.
- 20 En otra realización, el residuo sólido se puede tratar en una operación de fundición de plomo para recuperar el plomo como metal y disolver el zinc en una fase de escoria que se puede tratar adicionalmente, por ejemplo, mediante la combustión de escoria para separar el zinc como un óxido de zinc impuro que luego puede ser devuelto al circuito de lixiviación para recuperar el zinc como óxido de zinc de alta pureza.
- 25 La etapa de lixiviación produce un lixiviado rico en zinc que puede modificar su solubilidad de zinc mediante la depuración de amoníaco. La etapa de depurar el amoníaco del lixiviado precipita los compuestos básicos de zinc produciendo un líquido depurado que contiene un producto sólido de zinc. Una porción sustancial del zinc contenido puede recuperarse como compuestos básicos de zinc dejando un licor de cloruro de amonio agotado en zinc para su reciclaje. El proceso puede incluir la etapa de eliminar sólidos del líquido depurado que luego se puede recuperar. Ventajosamente, no se requieren etapas de evaporación adicionales para eliminar agua adicional ya que no se han realizado adiciones de dilución de agua en el proceso.
- 30 La etapa de depuración solo puede depurar una proporción del amoníaco del lixiviado. Sin embargo, se prefiere que la mayoría del  $\text{NH}_3$  se elimine del lixiviado en la etapa de depuración para producir un precipitado que comprenda la mayor parte del zinc que estaba en el licor de lixiviación en un compuesto de zinc sustancialmente libre de amoníaco. La concentración de  $\text{NH}_3$  después de la depuración es de entre 7 y 30 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$  y preferiblemente de ~ 15 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$ . Cuando la mayor parte del  $\text{NH}_3$  se depura del lixiviado, el zinc se precipita en el licor depurado en forma de cristales que contienen zinc, que comprenden al menos uno de hidróxido de zinc ( $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ), hidroxiclорuro de zinc ( $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ) o carbonato de zinc ( $\text{ZnCO}_3$ ) o una combinación de los mismos. Para el procesamiento posterior, se prefiere que el proceso se optimice para producir un compuesto bajo en cloruro como sea práctico dentro de las limitaciones de las composiciones químicas necesarias para llevar a cabo la etapa de lixiviación de manera eficiente.
- 35 La depuración de amoníaco se puede realizar por cualquier número de procesos.
- 40 En una realización, la etapa de depuración de amoníaco incluye una etapa de depuración de aire. La etapa de depuración de aire incluye preferiblemente al menos un recipiente en el que se carga una corriente de aire sobre o a través del lixiviado que contiene zinc para vaporizar o de otra manera eliminar una porción del contenido de amoníaco de ese lixiviado. El lixiviado que contiene zinc puede calentarse continuamente en uno o más de los recipientes de tiras de las etapas del proceso. El calentamiento se puede lograr utilizando un elemento de calentamiento interno, o más preferiblemente un intercambiador de calor externo. En esas realizaciones aplicables, parte o la totalidad del calor se puede suministrar al capturar el calor residual de un horno utilizado en la etapa de tostado de mineral de zinc y transfiriendo este calor utilizando un sistema de intercambio de calor adecuado a una o más corrientes de proceso en depuración de amoníaco.
- 45 En otra realización, la etapa de depuración de amoníaco incluye una etapa de evaporación instantánea en la que se carga un lixiviado calentado y presurizado a un recipiente de evaporación instantánea para evaporar una corriente de vapor de amoníaco-agua mezclada que deja un licor de zinc sobresaturado del que precipitan los compuestos de zinc.
- 50 La cristalización de los compuestos de zinc puede ocurrir in situ, dentro de los recipientes de depuración o en un recipiente/etapa de cristalización separado. Se pueden agregar cristales de compuestos de zinc a esta etapa para ayudar en la precipitación al proporcionar superficie para que crezcan los compuestos reciclando cristales y/o reteniendo algunos en el sistema de tandas anteriores.
- 55
- 60
- 65

En algunas realizaciones, la precipitación del precipitado que contiene zinc se lleva a cabo en un recipiente separado después de la depuración de amoníaco, ya sea directamente o con la ayuda de un enfriamiento deliberado del licor. La cantidad de enfriamiento depende de la composición de la solución y no siempre es necesario ya que muchas de las composiciones utilizadas tienen solo pequeños cambios de solubilidad con la temperatura. El precipitado de zinc se forma normalmente en forma de cristal y, por lo tanto, el proceso puede incluir una etapa de crecimiento de cristal, tal como un tanque agitado o similar.

Una serie de flujos de proceso de la etapa de depuración se pueden reciclar nuevamente en el proceso. Por ejemplo, el agua eliminada en el vapor de la etapa de depuración puede condensarse y reciclarse en al menos una etapa de lavado o filtrado. El amoníaco depurado se puede capturar para reciclarlo a la etapa de lixiviación. El licor agotado en zinc se puede reciclar directamente a la etapa de lixiviación y/o la parte se puede reciclar nuevamente a la etapa de separación para modificar la composición del licor para mejorar la eliminación de  $\text{NH}_3$ .

El uso del licor de lixiviación de baja concentración permite ventajosamente utilizar ósmosis inversa cuando se requiere licor de muy bajo nivel de amoníaco y/o cloruro para lavar los residuos y/o para la etapa de hidrólisis. El uso de ósmosis inversa también puede proporcionar un medio para producir una corriente de licor adecuada para eliminación del proceso si el balance hídrico se vuelve desfavorable. Este uso de ósmosis inversa no es posible en procesos que utilizan corrientes de licor de alta concentración ya que su presión osmótica es demasiado alta y dichos procesos tienen que utilizar procesos de evaporación intensivos en energía más costosos para eliminar el agua.

En las realizaciones aplicables, al menos una porción de la energía exotérmica de la etapa de tostado de mineral de zinc se puede capturar y utilizar en la etapa de depuración de amoníaco. En estas realizaciones, se puede utilizar al menos un intercambiador de calor para intercambiar calor entre la etapa de tostado de mineral de zinc en la etapa de depuración de amoníaco.

Después de la etapa de separación, las etapas de conversión pueden incluir las etapas de: separar el precipitado que contiene zinc del licor depurado; y preferiblemente lavar el precipitado que contiene zinc.

Esta etapa elimina cualquier amoníaco presente como trazas de cristales de diclorodiamina de zinc (ZDC) y/o como licor que contiene amoníaco atrapado en el precipitado. Un precipitado libre de amoníaco puede dar altos rendimientos de óxido de zinc porque los compuestos que contienen cloruro dentro de ellos pueden descomponerse para producir predominantemente óxido de zinc con una cantidad menor de cloruro de zinc que puede separarse y luego reciclarse o venderse. La etapa de lavado se realiza preferiblemente con un uso mínimo de agua para limitar la cantidad de agua utilizada en el proceso.

La etapa de convertir el(los) precipitado(s) que contiene zinc recuperado con este tipo de producto de precipitado intermedio puede continuar a lo largo de varias etapas diferentes del proceso para convertir el precipitado que contiene zinc en un producto con bajo contenido de cloruro.

En una realización, la etapa de convertir el precipitado que contiene zinc recuperado incluye la etapa de tostar el precipitado que contiene zinc a una temperatura de entre 600 a 900°C. La etapa de tostado ocurre preferiblemente en un horno. El tostado entre estas temperaturas convierte sustancialmente el producto a óxido de zinc. Adicionalmente, cualquier contenido de cloruro del precipitado que contiene zinc se volatiliza a esta temperatura predominantemente como  $\text{ZnCl}_2$ , dando así un producto de baja pureza y alta pureza. Mientras que las temperaturas más altas aceleran la volatilización, la temperatura final de tostado depende principalmente de la economía en cualquier instalación específica. Sin embargo, se debe apreciar que la eliminación de cloruros a <0.1% de Cl en el producto final generalmente implica tostar el precipitado que contiene zinc a temperaturas del orden de 700 a 800°C.

En otra realización, la etapa de convertir el precipitado que contiene zinc recuperado incluye las etapas de: hidrólisis del precipitado que contiene zinc en agua que tiene una temperatura de entre 80 a 300°C, preferiblemente entre 100 a 200°C.

Preferiblemente, se utiliza una alta carga de sólidos (>20%), lo que permite que se utilicen cantidades bajas (modestas) de agua para la hidrólisis.

La hidrólisis del precipitado que contiene zinc puede convertir sustancialmente cualquier contenido de hidroxiclورو de zinc en hidróxido de zinc, óxido de zinc o una mezcla de los mismos. La hidrólisis del precipitado que contiene zinc en agua caliente entre 80 a 300°C convierte sustancialmente cualquier contenido de hidroxiclورو de zinc en óxido de zinc y/o hidróxido de zinc. La hidrólisis logra preferiblemente un producto que tiene niveles bajos de cloruro totales e insoluble alcanzados (<0.7%).

Después de la hidrólisis, el producto de hidrólisis preferiblemente se filtra y enfría. El agua de hidrólisis se puede tratar mediante un proceso de separación, tal como la ósmosis inversa, para proporcionar un agua purificada con bajo contenido de cloruro y una solución enriquecida con cloruro, que se pueden reciclar en el proceso. Por ejemplo, la corriente rica en cloruro se puede utilizar en la etapa de lixiviación, mientras que el licor con bajo contenido de

cloruro se puede volver a utilizar en la hidrólisis y/o para lavar sólidos filtrados. El producto de hidrólisis se seca preferiblemente para eliminar agua a una temperatura de <200°C para dar un producto de ZnO.

5 Cuando se requiere un producto de mayor pureza, el precipitado que contiene zinc hidrolizado puede tostarse posteriormente para producir óxido de zinc. En estas realizaciones, la etapa de convertir el precipitado que contiene zinc recuperado incluye una etapa de tostado adicional en la que el precipitado que contiene zinc se tuesta entre 300 a 900°C, preferiblemente entre 400 a 800°C y lo más preferiblemente entre 500°C y 800°C. Se puede utilizar un tostado a temperatura más baja si se depura sustancialmente todo el contenido de cloruro en la etapa de hidrólisis.

10 El agua de la hidrólisis normalmente contiene zinc. Al menos una parte del agua de la etapa de hidrólisis se puede separar y reciclar a la lixiviación o tratar para recuperar el contenido de zinc. Preferiblemente, el agua se concentra para producir un licor concentrado. Este concentrado se puede reciclar a la etapa de lixiviación. El agua se procesa y/o concentra preferiblemente utilizando ósmosis inversa para dar una corriente de agua limpia para reciclar o descargar y una corriente más concentrada que contiene cloruros que se pueden reciclar en el proceso más comúnmente en la lixiviación o tratarse y descargarse. Nuevamente, los procesos de evaporación se evitan idealmente dada la gran cantidad de energía involucrada en estos procesos. Cuando la corriente concentrada se trata en lugar de reciclarse, la opción preferida es tratarla con NaOH para precipitar cualquier contenido de zinc para reciclarlo en el proceso como un sólido. Idealmente, la etapa de hidrólisis elimina todos los compuestos de cloruro del precipitado que contiene zinc. Sin embargo, si esto no se logra, las trazas de cloruro finales en el precipitado se pueden eliminar tostando el precipitado que contiene zinc hidrolizado a temperaturas entre 500 a 900°C.

En aún otra realización, la etapa de convertir el precipitado que contiene zinc recuperado incluye las etapas de:

25 una primera etapa de tostado en la que el precipitado que contiene zinc se tuesta a una temperatura de entre 300 y 500°C; y

una segunda etapa de tostado en la que los sólidos tostados se tuestan adicionalmente entre 300 a 900°C, preferiblemente entre 300 a 900°C.

30 En algunas realizaciones, después de la primera etapa de tostado, el precipitado que contiene zinc tostado se somete a una etapa de lixiviación con agua para producir un sólido lixiviado.

35 La primera etapa de tostado en esta realización descompone los compuestos de cloruro en ZnO y ZnCl<sub>2</sub>. Los compuestos de cloruro solubles (principalmente ZnCl<sub>2</sub>, aunque es posible algo de HCl) se depuran sustancialmente en la lixiviación acuosa. Cualquier traza de cloruro restante se puede eliminar mediante una etapa de tostado adicional, preferiblemente a mayor temperatura. Esta etapa también convierte los compuestos que contienen zinc en los sólidos lixiviados a ZnO. El régimen de doble tostado permite que se utilice menos agua para eliminar el contenido de cloruro en comparación con la opción de recuperación anterior, ya que ZnCl<sub>2</sub> es extremadamente soluble. El agua agregada se recupera y recicla preferiblemente en el proceso.

40 En otra realización, la etapa de convertir el precipitado que contiene zinc recuperado incluye la etapa de: tostar el precipitado que contiene zinc en una atmósfera de vapor a una temperatura de aproximadamente 350 a 500°C.

45 Esta etapa del proceso se realiza preferiblemente a una presión moderada de entre 1 y 5 bar. Este proceso tiene como objetivo descomponer el hidroxocloruro de zinc en ZnO y ZnCl<sub>2</sub> e hidrolizar el ZnCl<sub>2</sub> in situ para convertirlo en ZnO. La mayoría del contenido de cloruro se puede eliminar como HCl. El agua agregada resultante del vapor se recupera y recicla preferiblemente en el proceso.

50 En cualquiera de estas etapas de recuperación de zinc, el ZnCl<sub>2</sub> se volatiliza en la etapa de tostado. Cada uno de estos procesos puede incluir además al menos una de las etapas de condensar el ZnCl<sub>2</sub> y separarlo para la venta como ZnCl<sub>2</sub> anhidro, y/o capturar el ZnCl<sub>2</sub> en un licor acuoso y reciclar este licor a una etapa del proceso anterior. Este licor rico en ZnCl<sub>2</sub> se puede reciclar preferiblemente a la etapa de cristalización o la etapa de lixiviación.

55 En aún otra realización, y en particular en aquellas realizaciones en las que el mineral de zinc comprende un mineral de carbonato de zinc que no se somete a una etapa de pretostado, la etapa de convertir el precipitado que contiene zinc recuperado incluye las etapas de:

hidrólisis del precipitado que contiene zinc en agua que tiene una temperatura de entre 80 a 300°C; y

60 tostar el precipitado que contiene zinc a una temperatura inferior a 500°C, preferiblemente inferior a 400°C.

La etapa de hidrólisis se lleva a cabo para hacer reaccionar los compuestos que contienen cloruro para dar cristales que son predominantemente carbonato de zinc. Estos cristales luego se pueden tostar para descomponer el carbonato y dejar óxido de zinc de alta pureza.

65



La recuperación del zinc del lixiviado incluye preferiblemente una o más etapas del proceso que separan los sólidos del lixiviado, procedimientos de eliminación de otras especies metálicas que pueden estar presentes en el lixiviado, tales como plomo, manganeso, cobre y cadmio y/o etapas de proceso para separar el zinc del lixiviado.

5 La separación de elementos sólidos y líquidos en el proceso se puede realizar utilizando cualquier método adecuado. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el proceso incluye al menos una etapa de filtrado para eliminar sólidos del lixiviado.

10 El mineral de zinc o el calcinado rico en ZnO también pueden incluir al menos uno de manganeso, plomo, cobre o cadmio. Otros oligoelementos, especies o impurezas también pueden estar presentes. El proceso de la presente invención, por lo tanto, puede incluir etapas para eliminar cualquier plomo, manganeso, cobre o cadmio del lixiviado.

15 Cuando el mineral de zinc o el calcinado rico en ZnO incluyen plomo, esto se puede eliminar mediante procesos de eliminación selectiva. En primer lugar, se debe apreciar que el plomo (II) se lixivia en la etapa de lixiviación, mientras que el plomo (IV) no se lixivia y, por lo general, solo se disuelve una cantidad muy pequeña en el lixivante. El plomo lixiviado del mineral de zinc o el calcinado rico en ZnO se devuelve preferiblemente a los sólidos lixiviados por oxidación a una forma insoluble.

20 En la producción convencional de zinc, el plomo presente en el concentrado de sulfuro de zinc se convierte en sulfato de plomo y se separa. En el proceso de la presente invención, el contenido de plomo está predominantemente en forma de óxido de plomo. El óxido de plomo es más preferido para el procesamiento posterior debido a la ausencia de azufre. Este óxido de plomo se puede tratar fácilmente en la fundición de plomo convencional, en la que la ausencia de sulfato reduce la energía necesaria y también evita la necesidad de manipular gases que contienen azufre y también permite que el residuo de lixiviación se trate en hornos Waelz u otros hornos para recuperar cualquier material sin blanquear zinc y hacer una escoria adecuada para otros usos.

25 La oxidación controlada oxida preferiblemente cualquier plomo en el lixivante antes que cualquier manganeso que pueda estar presente en el mineral de zinc o en el calcinado rico en ZnO. Por lo tanto, cualquier plomo puede aislarse antes del manganeso. Si es necesario, la etapa de eliminación de plomo se realiza preferiblemente antes de cualquier separación de sólidos/líquidos del lixiviado después de la etapa de lixiviación. Sin embargo, en algunas realizaciones, el plomo se puede eliminar y separarse después de una etapa de separación de sólidos líquidos y recogerse por separado.

30 Cuando el mineral de zinc o el calcinado rico en ZnO incluyen manganeso, esto se puede eliminar mediante procesos de eliminación selectiva. En primer lugar, se debe apreciar que el manganeso en estados de oxidación de menos de +4 se lixivia en el proceso de lixiviación, pero el manganeso (IV) no se lixivia y, por lo general, solo una pequeña cantidad de manganeso se disuelve en el lixivante. El manganeso lixiviado del mineral de zinc o el calcinado rico en ZnO se devuelve preferiblemente a los sólidos lixiviados por oxidación a una forma insoluble.

35 Si se requiere, la etapa de eliminación de manganeso se realiza preferiblemente antes de cualquier separación sólido/líquido de lixiviado después de la etapa de lixiviación. Sin embargo, en algunas realizaciones, el manganeso se puede eliminar y separarse después de una etapa de separación de sólidos líquidos y recogerse por separado. Una vez más, es preferible llevar a cabo la oxidación controlada del plomo antes del manganeso, de modo que el plomo se pueda aislar opcionalmente antes de retirar el manganeso y luego el manganeso se oxida a dióxido de manganeso y se separa.

40 Cada una de las etapas de eliminación de plomo y manganeso puede comprender oxidación química utilizando uno de peróxido o cloro y/u oxidantes a base de cloruro tales como hipoclorito o cloramina. La oxidación del aire también se puede utilizar para eliminar estos metales. Alternativamente, también se puede utilizar oxidación electroquímica.

45 Cuando el mineral de zinc o el calcinado rico en ZnO incluyen cobre y cadmio, estos se pueden eliminar mediante el proceso bien establecido de cementación sobre zinc. El manganeso lixiviado del mineral de zinc o el calcinado rico en ZnO se depura preferiblemente utilizando un proceso de cementación que incluye la etapa de agregar zinc metálico al lixiviado. Esta etapa también puede eliminar trazas de plomo y se puede utilizar para la eliminación de plomo en lugar de, o además de la etapa oxidativa descrito anteriormente.

El plomo, el manganeso, el cobre y/o el cadmio también se podrían eliminar por medios electrofíticos. Dichos procesos electrofíticos se pueden combinar o consecutivamente o una combinación de combinados y consecutivos.

60 Otras eficiencias para el proceso pueden resultar del proceso de la presente invención que procesa mineral de zinc o calcinado rico en ZnO simultáneamente con un proceso de lixiviación con ácido sulfúrico convencional.

65 En un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona una planta que incluye un proceso de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención. Esta planta incluye preferiblemente un recipiente sellado que puede comprender un recipiente a presión capaz de presentar la solución lixivante y los materiales en partículas al confinamiento que ahorra amoniaco con el fin de lixiviar el zinc. Se debe apreciar que a 80°C hay poca/ninguna

presión, pero es necesario confinar el  $\text{NH}_3$  gaseoso porque tiene una presión de vapor sustancial y es preferible no perder ningún  $\text{NH}_3$  gaseoso.

5 La presente invención también proporciona óxido de zinc producido a partir de un proceso de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención.

Breve descripción de los dibujos

10 La presente invención se describirá ahora con referencia a las Figuras de los dibujos acompañantes, que ilustran realizaciones particulares preferidas de la presente invención, en las que:

La Figura 1 es un diagrama de flujo general que muestra las etapas del proceso de una realización preferida del proceso de acuerdo con la presente invención.

15 La Figura 2 es un diagrama de flujo general que muestra las etapas del proceso de otra realización preferida del proceso de acuerdo con la presente invención que forma parte de una planta integrada de tratamiento de mineral de zinc.

20 La Figura 3 es un diagrama de flujo general que muestra las etapas del proceso de otra realización preferida del proceso de acuerdo con la presente invención, que incluye una unidad de reciclaje de residuos de lixiviación.

La Figura 4 es una gráfica de la pérdida de masa de mineral de carbonato de zinc para una temperatura de tratamiento térmico dada.

25 La Figura 5 es una gráfica del contenido de zinc o mineral de carbonato de zinc para una temperatura de tratamiento térmico dada.

La Figura 6 es una gráfica de la eficiencia de extracción de zinc de lixiviación para el mineral de carbonato de zinc para una temperatura de tratamiento térmico dada.

30 La Figura 7 es una gráfica del contenido de zinc y cloruro del precipitado para el mineral de carbonato de zinc para una temperatura de tratamiento térmico dada.

Descripción detallada

35 El proceso de la presente invención se puede utilizar para recuperar un contenido de zinc de varios minerales de zinc oxidados, que incluyen los minerales que contienen un contenido de uno o más minerales sulfurosos de zinc, minerales de silicato de zinc o minerales de carbonato de zinc. Los ejemplos incluyen minerales de zinc oxidados como los que se encuentran en Beltana en Australia y Skorpion en Namibia (los minerales típicos son Willemite, Hemimorphite y Smithsonite). El proceso también se puede utilizar para recuperar un contenido de zinc de otros minerales de zinc, tales como esfalerita, wurtzita, hircozincita o similares.

45 Los minerales de zinc oxidados son difíciles de tratar económicamente utilizando el procesamiento convencional, ya que a menudo tienen un grado demasiado bajo para tratar directamente en fundiciones y son difíciles de beneficiar para aumentar el grado y también son difíciles de tratar hidrometalúrgicamente en circuitos ácidos debido a la presencia de sílice y/o carbonatos. El solicitante considera que el proceso de la presente invención es particularmente adecuado para estos minerales y proporciona un proceso mucho mejor que los procesos convencionales de fabricación de óxido de zinc, y recupera un producto de óxido de zinc de alto grado. Esto se puede vender directamente para su uso en aplicaciones como vulcanizar caucho, hacer cerámica y mejorar la agricultura, y también se puede utilizar para la producción de zinc metálico mediante electrólisis.

50 Para el proceso de la presente invención, el mineral de zinc se extrae y luego se somete a uno o más procesos de trituración en los que el mineral se muele, se tritura y/o se muele hasta obtener un polvo. La cantidad de trituración depende de las etapas de procesamiento posteriores. Para los minerales de  $\text{ZnS}$ , los minerales generalmente se muelen en un polvo fino para permitir la producción de un concentrado mediante flotación. Para el carbonato de zinc y/o el óxido de zinc y/o los silicatos de zinc, estos son normalmente triturados lo suficiente como para permitir cierta separación por gravedad u otras técnicas físicas o para la lixiviación directa utilizando los licores de lixiviación descritos a continuación para las etapas de lixiviación.

55 El proceso de trituración seleccionado puede depender del proceso de lixiviación utilizado. Para la lixiviación directa con lixiviación en pilas o basuras, el mineral normalmente se trituraría a alrededor de 12 a 20 mm utilizando sistemas de trituración convencionales. Mientras que, si la lixiviación se lleva a cabo en un reactor agitado, el mineral se trituraría más normalmente para que sea sustancialmente  $<2$  mm utilizando rodillos de molienda de alta presión y/o molinos de volteo como AG/SAG/Rod o Ball Mills. Para ciertos minerales que son más difíciles de lixiviar, el mineral puede triturarse en un polvo muy fino con partículas sustancialmente más finas de 75 micras utilizando molinos agitados como el IsaMill™ para aumentar el área de superficie y mejorar la velocidad y cantidad de extracción.

5 Para un procesamiento posterior utilizando medios físicos, el mineral se trituraría más normalmente a <12.5 mm y luego se procesará utilizando sistemas convencionales tales como sistemas de gravedad basados en separación de medios densos, plantillas y/o clasificadores espirales. El producto de este tratamiento sería adecuado para la lixiviación, ya sea directamente o después de una mayor trituración y molienda para obtener un polvo fino para mejorar la eficacia de la lixiviación.

10 En el proceso ilustrado la Figura 1, el concentrado de mineral de zinc puede ser un concentrado de mineral de sulfuro de zinc, concentrado del silicato de zinc o un concentrado de carbonato con zinc dependiendo del contenido de la carga de mineral en el proceso. En cada caso, este concentrado generalmente contiene algo de hierro y plomo como impurezas.

15 Cuando el mineral contiene niveles económicos de otros metales valiosos, como el plomo, estos también se pueden recuperar por separación del mineral antes de la lixiviación o, más comúnmente, por procesamiento adicional del residuo de la etapa de lixiviación de zinc. La técnica de separación depende de la forma mineral de estos metales, ya que si están presentes como sulfuros, entonces la separación se puede lograr mediante flotación o por sistemas de gravedad, mientras que si están presentes como óxidos, carbonatos o sulfatos, la separación probablemente utilizará técnicas de gravedad. Los minerales de plomo son particularmente susceptibles de separación por gravedad debido a su densidad extremadamente alta.

20 Las etapas del proceso generales después de la concentración se ilustran en la Figura 1. En la Figura 2 se ilustra un proceso alternativo, en el que este proceso forma un proceso integrado con un proceso de lixiviación con ácido sulfúrico convencional.

25 En primer lugar, haciendo referencia al proceso mostrado en la Figura 1, se puede observar que el concentrado de mineral de zinc puede ser cargado directamente en la etapa de lixiviación o en una etapa de pretostado antes de la lixiviación. La selección de la etapa del proceso en el que se carga el mineral de zinc depende del contenido del mineral.

30 El solicitante ha encontrado que los minerales de zinc oxidados, tales como un mineral de carbonato de zinc, un mineral de silicato de zinc o un mineral de óxido de zinc o combinaciones de los mismos, pueden sufrir lixiviación directa. Estos minerales oxidados no necesitan calcinarse/tostarse, pero pueden concentrarse utilizando cualquier cantidad de procesos convencionales de concentración y separación (por ejemplo, proceso de flotación, tal como flotación de espuma o similar) para formar una carga de concentrado de mineral de zinc adecuada para la etapa de lixiviación.

35 Para algunos minerales, puede haber ventajas en el tratamiento previo del mineral mediante concentración y/o calcinación a baja temperatura para mejorar el grado de carga a la lixiviación con cloruro de amonio alcalino. Por ejemplo, es preferible que los minerales de sulfuro de zinc y, en algunos casos, los minerales de carbonato de zinc se cargan en una etapa de tostado para producir un calcinado de ZnO que sea más adecuado para las etapas de lixiviación.

40 Para minerales de zinc de alta calidad, el mineral puede ser cargado directamente a la etapa de tostado. Sin embargo, más comúnmente el mineral estará sujeto a algún nivel de mejora a un concentrado para aumentar el contenido de zinc del material a tostar.

45 Por lo tanto, para algunos materiales que contienen zinc, tales como concentrados de mineral de sulfuro de zinc y concentrados de mineral de carbonato de zinc después de la concentración, el concentrado de mineral de zinc se carga a un tostador y se tuesta en una atmósfera de aire/oxígeno. Para minerales de carbonato de zinc, se prefiere que la temperatura de tostado esté entre 200 y 500°C, y preferiblemente <400°C y más preferiblemente <350°C. Para minerales de sulfuro y concentrados de sulfuro, se prefiere una temperatura más alta, normalmente entre 500 a 1000°C. Hay disponibles varios tostadores adecuados para esta etapa del proceso, que incluyen uno o una combinación de tostadores de hogar múltiple, tostadores de suspensión o tostadores de lecho fluidizado. El tostado convierte el contenido de zinc oxidado del concentrado en óxido de zinc, produciendo un calcinado rico en ZnO.

50 Para minerales de ZnS, también se produce dióxido de azufre (como se muestra en la Figura 1). Para minerales de ZnS, el dióxido de azufre se puede utilizar para la producción de ácido sulfúrico para el proceso de lixiviación convencional si es necesario.

55 El calor emitido por esta reacción exotérmica se puede capturar utilizando la tecnología convencional de intercambio de calor y posteriormente utilizarse para proporcionar gran parte de la energía necesaria para las etapas de procesamiento posteriores, tales como la etapa de depuración de amoníaco en las etapas de cristalización-depuración del proceso de recuperación de zinc (descrito a continuación). Este uso directo de la energía térmica es altamente eficiente y muy preferido sobre procesos alternativos tal como la conversión de la energía térmica en electricidad a través de un sistema de turbina de vapor.

El calcinado rico en ZnO del tostador se lixivia en una solución de amoníaco/cloruro de amonio para lixiviar selectivamente el zinc y dejar el hierro, el plomo y otras impurezas similares en un residuo libre de sulfato. Alternativamente, cuando el concentrado de mineral de zinc se lixivia directamente, ese concentrado de mineral de zinc se lixivia en una solución de amoníaco/cloruro de amonio para lixiviar selectivamente el zinc y dejar el hierro, el plomo y otras impurezas similares en un residuo libre de sulfato. La mayoría del zinc también se lixivia con solo algunos compuestos de zinc refractarios, tal como algunas formas de ferrita de zinc que no permiten la disolución completa del zinc contenido. Los detalles de esta lixiviación están cubiertos en detalle en la solicitud de patente internacional PCT/AU2011/001507, en la que el solicitante ha descubierto que la formulación particular de lixivante utilizada en la etapa de lixiviación del proceso de la presente invención y las condiciones particulares de depuración en una composición ventajosa de precipitado de zinc en la etapa de depuración, mientras se lixivia el zinc a partir de un mineral de zinc, concentrado de mineral de zinc y/o calcinado rico en ZnO en concentraciones de zinc lo suficientemente altas como para ser económicamente viables.

Sin desear limitarse a ninguna teoría, el solicitante ha diseñado la lixiviación y la etapa de convertir el precipitado que contiene zinc recuperado del proceso de la presente invención para aprovechar el equilibrio que se establece entre los complejos de metal soluble e insoluble de los óxidos y óxidos metálicos mezclados en un concentrado de mineral de zinc o zinc de ZnO cuando se lixivia por un lixivante. El lixivante particular de la presente invención proporciona una mezcla de ligandos que facilitan este equilibrio. El amoníaco, el cloruro de amonio, el hidróxido y el agua están disponibles para la formación de complejos metálicos.

El solicitante ha encontrado que el precipitado intermedio formado durante la etapa de depuración de amoníaco depende sustancialmente de la composición del lixivante utilizado en la etapa de lixiviación. La formulación de lixivante particular utilizada en la etapa de lixiviación de la presente invención comprende una concentración de amoníaco de entre 20 g/L de H<sub>2</sub>O y 150 g/L de H<sub>2</sub>O y una concentración baja de NH<sub>4</sub>Cl (menos de 150 g/kg de H<sub>2</sub>O, preferiblemente menos de 130 g/kg de H<sub>2</sub>O y más preferiblemente menos de 100 g/kg de H<sub>2</sub>O) conducen a cloruro de hidroxiclورو de zinc (Zn<sub>5</sub>(OH)<sub>8</sub>Cl<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O), e hidróxido de zinc (Zn(OH)<sub>2</sub>) precipita predominantemente cuando un El contenido de amoníaco seleccionado del lixivado resultante se depura de la solución. Se debe apreciar que también se puede producir una cantidad de óxido de zinc (ZnO). Esta composición de precipitado intermedio permite que se produzca un producto final de ZnO utilizando mucha menos energía de la que tradicionalmente ha sido posible en procesos anteriores de recuperación de zinc.

Los lixivantes de NH<sub>4</sub>Cl de alta concentración utilizados en procesos de lixiviación basados en NH<sub>4</sub>Cl previos proporcionan sustancialmente cristales de diclorodiamina de zinc (ZDC) como el precipitado intermedio a menos que se diluyan con agua adicional. Esto es consistente con la química publicada que cita que a >3Cl<sup>-</sup>MNH<sub>4</sub>Cl a 165 g/kg de H<sub>2</sub>O los cristales son siempre ZDC. Sin embargo, una etapa de dilución acuosa de este tipo requiere que se agregue una gran cantidad de agua al proceso, que debe eliminarse posteriormente. Esto agrega una carga de energía significativa a este tipo de proceso de recuperación de zinc. Un intermedio de diclorodiamina de zinc (ZDC) también es más difícil de procesar, ya que es un precursor de tostado inadecuado para ZnO. ZDC se descompone en NH<sub>3</sub> y ZnCl<sub>2</sub> en lugar de ZnO cuando se tuesta a temperaturas entre 300 y 900°C. La descomposición térmica de ZDC es un método bien conocido para producir ZnCl<sub>2</sub> anhidro.

La adición del NH<sub>3</sub> al lixivante permite que se utilicen estos niveles más bajos de NH<sub>4</sub>Cl, ya que mejora la solubilidad del zinc de tal manera que el licor de lixiviación puede lixiviar el zinc del calcinado de ZnO sin necesitar volúmenes excesivos de licor y el bote de zinc. luego se precipita sin la necesidad de enfriar el licor de lixiviación a temperaturas muy bajas para disminuir la solubilidad.

En la primera etapa de lixiviación ilustrada en la Figura 1, el mineral o concentrado de calcinado o carbonato de zinc o silicato de zinc rico en ZnO se lixivia con un lixivante alcalino que comprende una mezcla acuosa de cloruro de amonio y amoníaco. La lixiviación se realiza como una lixiviación contracorriente de dos etapas. La composición lixivante es preferiblemente ~50 g/L de licor de NH<sub>4</sub>Cl que contiene ~50 g/L de NH<sub>3</sub>. Sin embargo, se debe apreciar que también podría utilizarse un gran número de otras concentraciones dentro del alcance de la presente invención. El nivel máximo de NH<sub>4</sub>Cl está determinado por la necesidad de evitar sustancialmente la formación de cristales de ZDC. Adicionalmente, el solicitante ha descubierto que la solubilidad del zinc en este lixivante depende de las concentraciones de NH<sub>4</sub>Cl y NH<sub>3</sub>, pero estas tienen un impacto mínimo en el zinc total extraído. Por lo tanto, la concentración de NH<sub>3</sub> en el lixivante se selecciona para optimizar la solubilidad del zinc en el lixivante y para minimizar la energía necesaria para eliminar el NH<sub>3</sub> y precipitar los compuestos de zinc.

Se considera que el sistema de lixiviación en dos etapas proporciona una depuración de zinc del orden de 80 a >95%. Sin embargo, se debe apreciar que la extracción exacta depende de la composición del concentrado de mineral de zinc y/o el calcinado rico en ZnO utilizado en el proceso. Un rendimiento de zinc a través de la lixiviación es normalmente del orden de 15 a 50 g/L basado en el rango de solubilidad a medida que se elimina el amoníaco y precipitan los compuestos de zinc. Cada etapa de lixiviación es agitada, normalmente realizada en un recipiente agitado. El solicitante ha descubierto que estas condiciones particulares de lixiviación no dependen sustancialmente de la temperatura. Por lo tanto, cada etapa de lixiviación puede realizarse a temperatura ambiente (10 a 35°C) si se desea. En la práctica, la etapa de lixiviación se realiza entre 30 a 90°C, preferiblemente entre 50 a 60°C por consideraciones de equilibrio térmico del circuito.

La etapa de lixiviación produce un licor enriquecido sustancialmente que incluye el zinc con pequeñas cantidades de manganeso, plomo, cobre y cadmio solubilizados. También se produce un residuo sólido de lixiviación.

5 El licor enriquecido se separa luego del residuo lixiviado en un sistema de filtro y/o espesante para producir un licor enriquecido de alto contenido de zinc. La claridad del licor enriquecido es importante para minimizar las cargas en las etapas de filtrado posteriores, por ejemplo, un filtro después de la cementación (que se analiza a continuación). Por lo tanto, pueden ser necesarias adiciones floculantes para eliminar las partículas finas en el lixiviado.

10 El residuo que contiene el plomo, el hierro y otras impurezas se separa mediante filtración u otro método de separación y luego se trata pirometalúrgicamente o hidrometalúrgicamente. El tratamiento hidrometalúrgico generalmente implica el uso de ácidos fuertes. Esto se utiliza actualmente en varias plantas de producción de zinc convencionales.

15 La Figura 3 muestra un diagrama de flujo de una planta integrada en la que el residuo que contiene plomo, hierro y otras impurezas se trata pirometalúrgicamente, ya que la ausencia de azufre permite que este material se trate en hornos Waelz y/o a través de plantas de plomo y sistemas de humos de escoria. Cuando el material se trata pirometalúrgicamente, se puede lixiviar después del tratamiento utilizando el mismo sistema para recuperar zinc como óxido de zinc.

20 Cuando se utiliza una etapa de pretostado, puede haber ventajas para plantas de gran tonelaje en el tratamiento de solo parte del calcinado a través de la lixiviación de amoníaco/cloruro de amonio. Esto permite una producción adicional desde el sitio, ya que solo la planta tostadora y de ácido necesita una mayor capacidad sin la necesidad de una electroobtención adicional que tiene un alto coste de construcción. El tratamiento de más concentrado de mineral de zinc a través del tostador también proporciona más energía que se puede utilizar para la etapa de eliminación de amoníaco, lo que mejora el equilibrio energético general del proceso combinado.

25 El licor enriquecido resultante se somete normalmente a procesos de purificación para eliminar otros metales solubilizados. En el proceso de purificación, el licor enriquecido se puede pasar a través de una etapa de oxidación controlada para eliminar el plomo y el manganeso del licor, o se puede cargar directamente a una etapa de cementación donde el cobre y el cadmio se eliminan por cementación sobre zinc. En el proceso de cementación, el licor enriquecido se mezcla con polvo de zinc normalmente (0.2 a 2 g/L) para eliminar metales solubles, especialmente cobre, que es perjudicial para el producto en el mercado de la cerámica. Después de la cementación, la suspensión se filtra en un filtro de presión fina para eliminar el zinc no reaccionado, las impurezas metálicas y las partículas coloidales que quedan del circuito de lixiviación.

30 El licor resultante ahora incluye predominantemente el zinc en solución. La solubilidad del zinc en solución depende de la cantidad de amoníaco presente en el licor. Por lo tanto, la concentración de amoníaco se puede reducir para forzar la precipitación de los cristales que contienen zinc. Esto se logra en el presente proceso en la etapa de depuración (Figura 1) donde se depura el contenido de amoníaco del licor enriquecido utilizando calor y/o aire y/o vacío.

35 En una ruta de proceso, el licor enriquecido rico en zinc se pasa a una etapa de depuración de amoníaco caliente. En esta etapa, se utiliza un sistema de calentamiento para presurizar y calentar (normalmente entre 80°C y 130°C) el licor enriquecido, que luego se carga a un recipiente de depuración (no ilustrado). En algunas rutas de proceso, el licor enriquecido rico en zinc se carga a un sistema de depuración de aire de dos etapas que se discute en detalle en la solicitud de patente internacional PCT/AU2011/001507. En otra realización, el licor enriquecido calentado se puede cargar a un recipiente de evaporación instantánea (no ilustrado) para eliminar una corriente de vapor de amoníaco-agua mezclada que deja un licor de zinc sobresaturado.

40 En cada etapa de depuración, el licor enriquecido rico en zinc se puede calentar continuamente en uno o más recipientes de depuración de las etapas del proceso. El calentamiento se puede lograr utilizando un intercambiador de calor externo, o como se indicó anteriormente, parte o todo el calor se puede suministrar al capturar calor residual de un horno utilizado en la etapa de tostado de mineral de zinc (en realizaciones aplicables) y transferir este calor utilizando un sistema de intercambio de calor adecuado a la etapa de depuración para calentar el licor enriquecido a la temperatura deseada para utilizarlo en los recipientes de depuración.

45 El calentamiento también se puede lograr utilizando vapor y/o líquidos calientes generados a partir de fuentes externas con una proximidad razonable a la planta de procesamiento. Estos pueden ser de hornos de carbón o de gas, tal como los que se utilizan para la generación de electricidad, para la fabricación de hierro y acero y/o para el tratamiento de residuos o polvos de hornos de arco eléctrico, como los hornos Waelz.

50 El calentamiento también se puede lograr utilizando líquidos calientes de fuentes renovables tales como de instalaciones solares térmicas o, en algunos casos, de fuentes geotérmicas. El uso directo de este calor es mucho más eficiente que el uso de estas fuentes de calor para la electricidad.

55

60

65

5 En el proceso de la presente invención, el licor depurado es por lo tanto depurado de amoníaco hasta una concentración final de  $\text{NH}_3$  de entre 7 y 30 g/L de  $\text{H}_2\text{O}$  y preferiblemente tiene un pH mayor que 7. El solicitante considera que el requerimiento de energía para reducir la concentración final de  $\text{NH}_3$  a un valor inferior a este rango (y tener un pH de solución inferior a 7) no sería rentable, debido a la gran cantidad de agua que se necesita evaporar para eliminar el contenido de amoníaco. El pH resultante del licor depurado y la concentración de  $\text{NH}_3$  crean las condiciones de equilibrio apropiadas dentro de ese licor para precipitar el compuesto de zinc básico deseable o una mezcla de compuestos.

10 En una realización, parte o la totalidad de la mezcla de vapor de aire de amoníaco-agua de la etapa de depuración se puede cargar a una columna de depuración para extraer una corriente de agua con bajo contenido de amoníaco y vapor de amoníaco que se captura en un depurador adecuado. La corriente de agua preferiblemente tiene un bajo contenido de amoníaco y, por lo tanto, es adecuada para uso en etapas de lavado posteriores y etapas de captura de vapor, tales como una etapa de captura de vapor de cloruro de zinc descrita a continuación. El vapor de amoníaco se enfría y condensa, o se pone en contacto con un licor acuoso utilizando un depurador húmedo y se disuelve en el licor para reciclarlo a la lixiviación. El licor acuoso utilizado puede ser el filtrado de la etapa de precipitación, pero también podrían utilizarse otras corrientes del proceso.

20 En otra realización, toda la mezcla de vapor de aire de amoníaco-agua se carga a una columna de absorción y se pone en contacto con un licor acuoso enfriado, que es preferiblemente el licor agotado en zinc y amoníaco de la depuración de amoníaco con los cristales eliminados por filtración y/o sedimentación, de tal manera que la mayoría del amoníaco y el agua se absorben en el líquido, dejando una corriente de aire con bajo contenido de amoníaco y agua para reciclar en el circuito de depuración de amoníaco.

25 En otra realización, se utiliza un sistema de tira de dos etapas donde la mezcla de vapor de aire de amoníaco-agua de la segunda etapa se carga a un intercambiador de calor de condensación donde el calor se transfiere a una corriente de licor que se carga a la primera etapa de tira mientras que el condensado con bajo contenido de amoníaco se separa del vapor no condensado y se utiliza dentro del circuito para lavar tortas de filtro y/o para la etapa de hidrólisis.

30 Siguiendo las etapas del proceso en la Figura 1, el licor de zinc sobresaturado se pasa a un cristizador o etapa de cristalización (mostrada como una etapa de cristalización en las Figuras 1, 2 y 3). En algunas realizaciones, la etapa de cristalización se puede realizar in situ dentro de los vasos de depuración. En otras realizaciones, el licor de zinc sobresaturado se puede cargar a un recipiente o recipientes de cristalización separados, por ejemplo, un tanque agitado en el que el licor tiene una residencia extendida para permitir que los cristales se formen y crezcan. Si se desea, el licor se puede enfriar utilizando un intercambiador de calor antes de ingresar al tanque de cristalización y se puede proporcionar enfriamiento adicional en el tanque. Los cristales resultantes se filtran en una prensa de filtro convencional, se lavan en una corriente de agua o agua-amoníaco (producida a partir de la etapa de separación) y luego se descargan en un transportador de cinta.

40 Los cristales son predominantemente hidroxiclورو de zinc ( $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e hidróxido de zinc ( $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ) con, en algunos casos, una cantidad de óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ). Los cristales tienen normalmente ~1 a 14% de Cl con poco o ningún contenido de ZDC. El licor gastado de la prensa de filtro se recicla sustancialmente a la segunda etapa de la lixiviación de dos etapas. En esta etapa de reciclaje, el licor gastado se puede utilizar como una captura de medio en el depurador que sigue a la columna de depuración. El licor gastado también se puede utilizar como medio de lavado después de la columna de depuración de aire caliente de la etapa de purga descrita a continuación. El agua de lavado del filtro de cristal también se puede utilizar en un proceso posterior, en este caso un medio de captura de  $\text{ZnCl}_2$  para capturar el  $\text{ZnCl}_2$  volatilizado durante la etapa de tostado. También se puede utilizar como agua de reposición para el proceso.

50 Los cristales se cargan luego a un proceso de recuperación que puede continuar a lo largo de varias etapas diferentes del proceso para convertir los cristales en un producto de óxido de zinc bajo en cloruro. Como se muestra por las líneas de proceso continuas y discontinuas en la Figura 1, el proceso de recuperación que puede incluir una etapa de hidrólisis, una etapa de calcinación o ambas. Las etapas de conversión exactas dependen de la calidad y pureza del producto de óxido de zinc deseado.

55 En algunas realizaciones del proceso, los cristales se pueden hidrolizar para convertir sustancialmente cualquier contenido de cloruro de hidroxiclورو de zinc en al menos uno de hidróxido de zinc u óxido de zinc. Cuando la temperatura del agua de hidrólisis es caliente, por ejemplo, a una temperatura de entre 90 a 300°C, se puede producir un producto de hidrólisis que comprende sustancialmente  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  y/o óxido de zinc  $\text{ZnO}$  con solo una pequeña cantidad de insoluble residual cloruro restante. En algunos casos, el producto de hidrólisis puede incluir menos del 0.4% de cloruro insoluble. Esta ruta de conversión se aplica a los cristales que son casi todos hidroxiclورو de zinc (~13% Cl) a través de cristales de cloruro más bajos (<7%) y cristales de muy bajo cloruro (<2%) que se pueden hacer directamente de las etapas de depuración de amoníaco y cristalización descrita anteriormente en condiciones controladas.

65

Se observa que la reacción de conversión también puede proceder a temperaturas más bajas. Sin embargo, el solicitante ha descubierto que la reacción no es tan eficiente en comparación con la reacción a temperatura más alta y que el nivel de cloruro que queda en el producto de hidrólisis es más alto, siendo alrededor del 1% a 60°C y del 3% a 25°C cuando se tratan cristales con contenidos iniciales de cloruro superiores al 3%. El cloruro total presente depende de la cantidad de cloruro soluble que queda y esto se controla lavando los cristales con niveles adecuados de agua.

La reacción no es reversible y una vez formados, los cristales con bajo contenido de cloruro no aumentan en contenido de cloruro cuando se enfrían, incluso en presencia de licor que contiene cloruro. La mezcla se puede enfriar y filtrar a alrededor de 50 a 60°C en un equipo de filtración convencional.

Se pueden utilizar cargas bastante altas de sólidos (al menos 20%) y, por lo tanto, las adiciones de agua son bastante modestas. Por lo tanto, se prefieren los cristales de cloruro más bajos, ya que requieren menos adición de agua, lo que mejora la economía del proceso ya que el agua agregada debe eliminarse.

El cloruro liberado en el agua durante la hidrólisis se elimina utilizando ósmosis inversa para recuperar agua limpia para su reutilización. El contenido de cloruro se concentra a niveles de cloruro que son compatibles con el licor en las etapas de lixiviación y cristalización, lo que permite que esta corriente también se recicle fácilmente en el proceso.

Después de la hidrólisis, el producto de hidrólisis se puede secar a una temperatura de <200°C para producir un producto de óxido de zinc de alta pureza (>99% de ZnO). Este producto generalmente tiene un área de superficie alta (>3 m<sup>2</sup>/g) debido a la presencia de partículas finas porosas y, por lo tanto, es ideal para aplicaciones que requieren ZnO muy activo, como donde el ZnO sirve como catalizador en reacciones químicas y/o caucho vulcanizante. El área de superficie lograda puede modificarse cambiando la composición del licor para precipitar cristales con niveles variables de cloruro que a su vez dan áreas de superficie variadas después de la hidrólisis.

Cuando se desea un producto de muy alta pureza, este producto con bajo contenido de cloruro y bajo contenido de agua se puede cargar a un horno. El horno solo tiene que eliminar una pequeña cantidad de cloruro y nada de agua, lo que permite un rendimiento mucho mayor y un sistema de depuración de gases mucho más simple y más pequeño. El producto hidrolizado se puede calcinar/tostar entre 300 a 900°C para producir óxido de zinc de muy alta pureza. Se puede utilizar un tostado a temperatura más baja si se elimina sustancialmente todo el contenido de cloruro en la etapa de hidrólisis. El agua de la hidrólisis contiene algo de zinc y, por lo tanto, al menos una parte del agua de la etapa de hidrólisis se depura mediante ósmosis inversa y el licor más concentrado se recicla a la lixiviación o se trata para recuperar el contenido de zinc. Cuando se favorece el tratamiento, el agua recuperada se puede tratar con NaOH para precipitar cualquier contenido de zinc para reciclarlo en el proceso. El agua tratada con NaOH puede descargarse del proceso como una corriente de NaCl de baja concentración. Esto ayuda a mantener el equilibrio de cloruro en el circuito, pero tiene un costo adicional en el uso de NaOH. Si no se elimina todo el cloruro por hidrólisis, las trazas finales de cloruro en el precipitado se pueden eliminar al tostar el precipitado que contiene zinc hidrolizado a temperaturas entre 600 a 900°C.

La etapa de tostado también cambia el área de superficie del producto y, cuando se desea, el tostado a alta temperatura se utiliza para proporcionar un producto de área de superficie baja (<1 m<sup>2</sup>/g) que es más adecuado para aplicaciones en la que una densidad aparente más alta se prefiere el producto. La elección exacta de la composición de precipitado cristalino depende de dónde se utilicen. Por lo tanto, las condiciones de hidrólisis y tostado dependen del mercado objetivo del producto, lo que le da al proceso otra ventaja sobre la producción convencional de ZnO, donde hay pocas oportunidades para modificar las propiedades del producto.

En otras realizaciones del proceso, los cristales se calcinaron directamente para convertir el precipitado intermedio en ZnO.

En una realización, los cristales se calientan a una temperatura de entre 300 a 500°C. Esta etapa de tostado descompone los compuestos de cloruro en ZnO y ZnCl<sub>2</sub>. Los compuestos de cloruro solubles (principalmente ZnCl<sub>2</sub>) se eliminan sustancialmente en la lixiviación acuosa para producir un sólido lixiviado. Cualquier traza de cloruro restante se puede eliminar luego mediante una etapa de calcinación adicional, preferiblemente a una temperatura más alta, tal como entre 300 a 900°C. Esta etapa también convierte los compuestos que contienen Zn en los sólidos lixiviados a ZnO. El régimen de doble calcinación permite que se utilice menos agua para eliminar el contenido de cloruro en comparación con la opción de recuperación anterior, ya que el ZnCl<sub>2</sub> es extremadamente soluble.

En otra realización del proceso, los cristales se pueden calentar en una atmósfera de vapor a una temperatura de aproximadamente 350 a 500°C. Esta etapa del proceso probablemente se llevaría a cabo a presión moderada, de 1 a 5 bar. Este proceso tiene como objetivo descomponer el hidroxiclورو de zinc en ZnO y ZnCl<sub>2</sub> y para hidrolizar el ZnCl<sub>2</sub> in situ para convertirlo en ZnO. La mayoría del contenido de cloruro se puede eliminar como HCl.

En otra realización del proceso, los cristales se calcinan directamente en un horno a una temperatura de entre 600 a 900°C. Cualquier ZnCl<sub>2</sub> volatilizado es capturado y reciclado. El tostado entre estas temperaturas convierte

5 sustancialmente el producto a óxido de zinc. Adicionalmente, cualquier contenido de cloruro del precipitado que contiene zinc se volatiliza a esta temperatura a  $ZnCl_2$  predominantemente, dando así un producto de baja pureza y alta pureza. Algunas trazas de HCl también pueden emitirse temprano en el tostado a través de una reacción parcial del vapor de  $ZnCl_2$  y  $H_2O$ . Mientras que las temperaturas más altas aceleran la volatilización, la temperatura final de  
10 tostado depende principalmente de la economía en cualquier instalación específica. Sin embargo, se debe apreciar que la eliminación de cloruros a <0.4% de Cl en el producto final normalmente implica tostar el precipitado que contiene zinc a temperaturas del orden de 500 a 900°C. Adicionalmente, la eliminación de cloruros a <0.2% de Cl en el producto final normalmente implica tostar el precipitado que contiene zinc a temperaturas del orden de 600 a 900°C incluso con tratamiento previo.

15 El precipitado que contiene zinc con bajo contenido de amoníaco es muy adecuado para tostar ya que el compuesto principal que contiene cloruro de hidroxiclورو de zinc ( $Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$ ) se descompone en una mezcla de ZnO (la fracción principal) y  $ZnCl_2$  (la fracción menor). El ZnO permanece como un sólido mientras que el  $ZnCl_2$  se volatiliza a temperaturas elevadas.

20 El  $ZnCl_2$  volatilizado se puede capturar fácilmente de la corriente de gas en un depurador húmedo utilizando un medio acuoso para reciclarlo nuevamente a la lixiviación. Dicha corriente de captura de  $ZnCl_2$  puede ejecutarse en un ciclo de reciclaje continuo de modo que la composición alcance el objetivo de lixiviación (estimado en ~200 g/L de  $ZnCl_2$ ). Esta solución de  $ZnCl_2$  de alta concentración se puede reciclar nuevamente en el proceso y/o tratarse para recuperar grados especiales de producto de ZnO. Más comúnmente, la corriente de  $ZnCl_2$  regresará a la etapa de cristalización, pero en algunos casos puede haber ventajas en devolverlo directamente al circuito de lixiviación. Se puede agregar agua de la columna de depuración de amoníaco directamente y a través del lavado con filtro de cristal para retener la concentración y el volumen correspondiente se reciclará en el proceso.

25 Esta alta corriente de  $ZnCl_2$  también se puede utilizar para fabricar productos de ZnO de grado especial al precipitar ZnO y/o  $Zn(OH)_2$  con alta pureza y tamaño de partícula controlado y morfología agregando NaOH o una base similar al licor de manera controlada. Este alto contenido de  $ZnCl_2$  es particularmente atractivo ya que tiene una pureza muy alta.

30 En otra realización, el vapor de  $ZnCl_2$  no se depura con solución acuosa, sino que se condensa para formar  $ZnCl_2$  anhidro de alta pureza que se puede recuperar y vender por separado como producto.

35 La etapa de pretostado para el mineral de sulfuro de zinc normalmente asegura que este mineral sea tratado térmicamente a una temperatura suficiente para quemar el sulfuro de zinc en óxido de zinc. De acuerdo con lo anterior, la lixiviación y la depuración de amoníaco dan como resultado un precipitado que comprende sustancialmente precipitado de óxido de zinc/hidróxido de zinc/cloruro hidroxilo de zinc. El ZnO puede recuperarse utilizando hidrólisis o tostación/calcinación del precipitado como se discutió anteriormente.

40 Para el mineral de carbonato de zinc, la elección del proceso de recuperación de zinc u óxido de zinc depende de si el mineral se sometió a una etapa de pretostado.

45 Cuando el mineral de carbonato de zinc contiene poco o nada de carbonato de zinc y/o se tostó previamente a una temperatura suficiente para disociar el carbonato de zinc, la lixiviación y depuración amoníaco da como resultado un precipitado que comprende sustancialmente óxido de zinc/hidróxido de zinc/precipitado de cloruro de hidroxilo de zinc. El ZnO puede recuperarse utilizando hidrólisis o tostación/calcinación del precipitado como se discutió anteriormente.

50 Cuando el mineral que contiene carbonato de zinc se lixivia sin la etapa de pretostado, la etapa de lixiviación disuelve tanto el zinc como el carbonato para dar un licor enriquecido que contiene carbonato además del zinc, amoníaco y cloruro de amonio. El licor de lixiviación es capaz de extraer la mayoría del zinc contenido en el mineral. El licor enriquecido luego elimina el amoníaco para precipitar el zinc principalmente como cloruro de hidroxilo de zinc mezclado, cristales de carbonato de zinc que también pueden contener algo de óxido de zinc y/o hidróxido de zinc.

55 Estos cristales luego se hidrolizan para permitir que el agua reaccione con los compuestos que contienen cloruro para dar cristales que son predominantemente carbonato de zinc. Los cristales hidrolizados luego se tuestan/calcinan a aproximadamente 200 a 450°C para descomponer el carbonato, dejando óxido de zinc de alta pureza.

60 De acuerdo con lo anterior, la lixiviación directa de minerales de carbonato de zinc elimina la necesidad de la etapa previa al tostado del mineral. Sin embargo, la presencia de carbonato en el licor enriquecido puede afectar la capacidad de depurar el amoníaco, ya que puede disminuir el pH del licor, lo que da como resultado una menor proporción del amoníaco presente como amoníaco "libre", que es más susceptible de eliminación. Esto puede aumentar la energía requerida para eliminar este amoníaco y aumentar la cantidad de vaporización de agua junto con el amoníaco en la etapa de depuración.

65



En algunos casos, puede ser preferible eliminar químicamente parte o la totalidad de este carbonato antes de depurar el amoníaco utilizando iones precipitantes de carbonato conocidos tales como calcio, magnesio o bario. Cuando se utiliza calcio, esto se agrega preferiblemente como cal (ya sea anhidra o apagada) para dar  $\text{CaCO}_3$ , que luego se puede precipitar y quemar para regenerar la cal o eliminarse como residuo.

La precipitación de carbonato se puede hacer directamente desde el licor de lixiviación enriquecido o alternativamente desde licor parcialmente depurado de amoníaco tomado de una parte a través de un circuito de depuración de amoníaco de etapas múltiples o incluso el licor gastado que proviene del circuito de depuración de amoníaco después de que se han separado los cristales de zinc.

La Figura 2 proporciona un diagrama de flujo general que muestra las etapas del proceso para otra realización preferida del proceso de acuerdo con la presente invención que forma parte de una planta integrada de tratamiento de minerales. En este documento, el proceso descrito e ilustrado en la Figura 1 procesa el concentrado de mineral de zinc simultáneamente con un proceso convencional de lixiviación con ácido sulfúrico. El proceso convencional para convertir el concentrado de mineral de zinc en metal Zn implica quemar el concentrado de mineral de zinc, en particular un concentrado de mineral de  $\text{ZnS}$ , en aire/oxígeno (tostado) para producir un calcinado rico en  $\text{ZnO}$ , lixiviando el calcinado rico en  $\text{ZnO}$  en ácido sulfúrico, la purificación del lixiviado para preparar un electrolito de zinc a partir del cual se produce zinc metal por electrólisis. El óxido de zinc puede ser producido por tratamiento térmico/conversión del metal de zinc.

El  $\text{ZnO}$  producido a partir del circuito de amoníaco se vende idealmente como un producto de alto valor para uso directo en aplicaciones tales como caucho y/o cerámica. Sin embargo, en algunos casos puede ser preferible utilizar este  $\text{ZnO}$  para fabricar metal disolviéndolo en un electrolito adecuado como ácido sulfúrico y luego electroobtención como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 1. Este enfoque permite que el tratamiento de los concentrados se realice de manera rentable en una ubicación diferente de la electroobtención. Debido al alto costo de construir una planta de electroobtención y la gran cantidad de electricidad utilizada, esta etapa de electroobtención puede construirse donde haya fácil acceso a electricidad de bajo coste, mientras que la tostación original y la producción de  $\text{ZnO}$  pueden ubicarse cerca de la mina y/o cerca a una ubicación adecuada donde haya una salida para el ácido sulfúrico producido a partir del dióxido de azufre en la corriente de gas. Este método de llevar a cabo estas etapas en diferentes lugares es análogo a cómo se organizan las diferentes etapas en la producción de aluminio.

El  $\text{ZnO}$  producido a partir del circuito de amoníaco también se puede utilizar para producir otros productos químicos de zinc tales como sulfato de zinc que se produce fácilmente al disolver el  $\text{ZnO}$  en ácido sulfúrico como el producido a partir del  $\text{SO}_2$  que se libera cuando el mineral de  $\text{ZnS}$  o  $\text{ZnS}$  El concentrado de mineral se calcina. El  $\text{ZnO}$  del circuito de amoníaco es ideal para esta aplicación, ya que tiene una alta pureza y se puede agregar en cantidades controladas para dar cualquier composición deseada.

#### Ejemplo 1: Mineral de carbonato de zinc

Las muestras del mismo mineral de carbonato de zinc (smithsonita) de Guatemala se sometieron a varias temperaturas de calcinación entre  $200^\circ\text{C}$  y  $700^\circ\text{C}$ . También se usó una muestra de control, sujeta a ningún tratamiento térmico.

La recuperación de lixiviación y  $\text{ZnO}$  del mineral no tratado y tratado térmicamente se realizó de acuerdo con el proceso descrito anteriormente, utilizando procesos de lixiviación discontinua, con una composición lixivante de ~50 g/L de licor de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  que contiene ~50 g/L de  $\text{NH}_3$  a  $60^\circ\text{C}$  para extraer hasta 94.8% del zinc y lograr hasta 40 g/L de zinc en el licor enriquecido. Se llevaron a cabo etapas de depuración de amoníaco por tandas para producir precipitados que contenían cantidades variables de carbonato de zinc/hidroxidocloruro de zinc dependiendo de las opciones de tratamiento térmico antes de la lixiviación. Los precipitados se hidrolizaron en solución de amoníaco diluida caliente para producir mezclas de óxido/hidróxido de zinc de alta pureza y carbonato de zinc de alta pureza. Esa mezcla se convirtió luego en óxido de zinc por tostación a  $325^\circ\text{C}$ .

Se compiló un balance de masa del mineral de control (A) (ninguno), (B) con un tratamiento térmico previo a la tostación a  $300^\circ\text{C}$  y mineral (C) con un tratamiento térmico previo a la tostación a  $600^\circ\text{C}$  para las varias etapas del proceso. Los resultados se proporcionan en la tabla 1.

Tabla 1: Tratamiento térmico del mineral - Balance de masa

Suponiendo que el mineral sea tratado por adelantado			
Temperatura de tratamiento del mineral ( $^\circ\text{C}$ )	Ninguno	300	600
Masa después del tratamiento térmico (kg)	1000	760	730
Contenido de zinc (%)	33.2	43.1	45.6

(continuación)

Suponiendo que el mineral sea tratado por adelantado			
Eficiencia de extracción de zinc (%)	89.8	94.8	91.4
Licor enriquecido en masa (t)	9.9	10.3	10.1
Residuo de lixiviación en lasa (kg)	563	364	347
Precipitado en masa (kg)	220	393	321
Contenido de precipitado: zinc	57.8	52.6	57.2
Contenido de precipitado: cloruro	3.8	20.3	15.6
Sólido hidrolizado (kg)	215	251	205
Masa final de óxido de zinc (kg)	161	243	198

Los resultados mostrados en la Tabla 1 muestran que el mineral de carbonato de zinc se puede utilizar para producir óxido de zinc de manera efectiva con y sin un tratamiento térmico inicial. Sin embargo, el tratamiento térmico a aproximadamente 300°C proporciona un rendimiento más alto en comparación con ningún tratamiento térmico o tratamiento térmico a alta temperatura (>600°C).

Adicionalmente, se midieron la pérdida de masa, el contenido de zinc, la eficiencia de lixiviación y el contenido precipitado de zinc y cloruro de varias muestras de mineral tratadas térmicamente. Los resultados se muestran en las Figuras 4 a 7.

La etapa de pretostado del mineral de carbonato de zinc se utiliza para convertir el carbonato en óxido de zinc. Como se muestra en la Figura 4, durante el tostado hay una considerable pérdida de peso/masa cuando el mineral se calienta a temperaturas suficientes para descomponer el carbonato de zinc. Esta pérdida de masa aumenta la concentración efectiva de zinc en el mineral (Figura 5).

Sin embargo, el solicitante ha descubierto que la etapa de pretostado no mejora significativamente la extracción de lixiviación para minerales de carbonato de zinc. Como se muestra en la Figura 6, a altas temperaturas, el proceso de pretostado en realidad reduce la depuración de Zn en la lixiviación. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el mineral de carbonato de zinc y calcinación puede ser ventajoso para reducir la energía requerida durante el procesamiento posterior del licor enriquecido de la lixiviación para proporcionar ZnO de alta pureza.

En general, observando los resultados proporcionados en las Figuras 5 y 6, es evidente que la lixiviación seleccionada es particularmente efectiva para minerales de carbonato de zinc donde no hay tratamiento térmico previo o este tratamiento térmico es solo a bajas temperaturas de <400°C y más preferiblemente <350°C.

Como se indicó anteriormente, existen diferencias en la química específica y la composición de algunos de los compuestos intermedios dependiendo de la temperatura de la etapa de pretostado. Esto se ilustra al estudiar la composición de los cristales precipitados después de la depuración de amoníaco para un mineral de carbonato de zinc (smithsonita) con diferentes temperaturas de tratamiento térmico se muestran en la Figura 7. Los cristales preparados para el mineral tratado térmicamente (300°C o más), alrededor del 15% de cloruro y 55% de zinc, aunque esto se puede modificar para dar zinc más alto (>65%) y menos cloruro (<5%) manipulando las condiciones de precipitación. En contraste, el mineral no tratado térmicamente da cristales bajos en cloruro (<10%) bajos en zinc (<55%) con presencia de carbonato sustancial.

La diferencia en la composición cristalina se destaca después de la hidrólisis para hacer reaccionar los compuestos de cloruro con agua caliente con el producto cristalino del mineral tratado con calor o hidrolizando para dar un producto con alto contenido de Zn (>75%) mientras que el producto cristalino El mineral tratado con calor se hidroliza para dar un producto con solo alrededor del 59% de zinc, sinónimo de ser predominantemente carbonato de zinc en lugar de óxido de zinc/hidróxido de zinc. El carbonato de zinc no se hidroliza a las temperaturas normalmente utilizadas para la etapa de hidrólisis y necesita bajo tratamiento térmico posterior para convertirlo en el óxido de zinc deseado.

Con respecto al producto final, se evidenció un mínimo de cloruro residual en el sólido de carbonato de zinc hidrolizado (<0.1%) que luego proporciona ZnO de muy alta pureza después del tratamiento térmico a -300°C para descomponer el carbonato de zinc en óxido de zinc. Si se trata con calor antes de la lixiviación, el mineral de carbonato de zinc finalmente produce precipitados que después de la hidrólisis y el secado a -200°C producen óxido de zinc de alta pureza que contiene -0.6% de cloruro.

Ejemplo 2: Mineral de sulfuro de zinc

2.1 Prueba de tostado

Una pequeña muestra de 500 g de un concentrado de Esfalerita producido a partir de un mineral de esfalerita típico recibido del Instituto de Investigación Ian Wark, Australia Occidental procedente del mineral extraído de la Mina Cadjebut, ubicada a 71 km al sureste de Fitzroy Crossing en Australia Occidental, fue tostado a 1000°C durante 15 horas para determinar si la composición del concentrado cambió.

5 El análisis de masa indicó que el concentrado perdió en promedio un 17.4% de su masa. El azufre representa el 32.9% de la masa de ZnS y, a medida que el oxígeno se une al zinc para formar óxido de zinc, la pérdida de masa teórica debería haber sido del 16.5%, lo que indica que la etapa de tostado había eliminado el azufre. La  
10 composición del material tostado se analizó utilizando ICP-MS y se encontró que contenía 1.8% de azufre en comparación con 30.5% en la carga original, confirmando que el azufre se eliminó en gran medida por la etapa de tostado. 2.2 Prueba de lixiviación

15 Se lixiviaron dos muestras del mismo concentrado de esfalerita que se recibió a bajo contenido de sólidos (2% p/v) en licor 60/50 durante 4 horas a 60°C para determinar si se podía lixiviar algo del zinc en el sulfuro de zinc. No se lixivió zinc en ninguna de estas lixivitaciones. También se realizó una lixiviación con alto contenido de sólidos (30% p/v) con el mineral tal como se recibió y se lixivió un minuto de 0.07 g/L de zinc.

20 También se lixiviaron dos muestras del concentrado tostado a 1000°C al 2% de sólidos en una lixiviación de una sola tanda utilizando licor 60/50 durante 4 horas a 60°C para determinar las porciones de cada elemento lixiviado. Las dos lixivitaciones extrajeron 83.0% y 82.2% del zinc, lo que indica que el tostado a 1000°C había convertido la mayoría del sulfuro de zinc en óxido de zinc que es susceptible de lixiviación utilizando el licor de amoniaco-cloruro de amonio. El licor enriquecido de la etapa de lixiviación se trató con 0.5 g/L de polvo de zinc de grado técnico para reducir las concentraciones de cadmio y plomo en el licor a niveles indetectables (por debajo de 2 ppm).

25 El licor enriquecido purificado se calentó para depurar el amoniaco a una concentración de 20.2 g/L, haciendo que precipitaran cristales que contenían zinc de la composición 61.7% de zinc y 16.8% de cloruro, que es predominantemente cloruro de hidroxiclорuro de zinc.

30 Los cristales húmedos se hidrolizaron en agua que contenía alrededor de 10 g/l de amoniaco durante 2 horas a 100°C utilizando una carga de sólidos al 10% (p/v). El 32.1% de la masa cristalina se disolvió por hidrólisis y el sólido resultante contenía 78.9% de zinc y 0.70% de cloruro, lo que indica que se había producido la conversión a óxido de zinc. El sólido hidrolizado se secó a 200°C para eliminar cualquier humedad arrastrada y realizar la conversión final a óxido de zinc de alta pureza. Una porción del sólido hidrolizado también se tostó a >750°C para producir óxido de  
35 zinc de súper alta pureza en el que el nivel de cloruro estaba por debajo de los límites de detección de los sistemas de análisis convencionales (es decir, <50 ppm).

## REIVINDICACIONES

1. Un proceso para recuperar óxido de zinc a partir de un mineral de zinc, el proceso incluye las etapas de:
- 5    tostar el mineral de zinc en atmósfera de aire/oxígeno para producir un calcinado rico en ZnO;
- lixiviar el calcinado rico en ZnO con un lixiviante alcalino que comprende una mezcla acuosa de NH<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub>Cl, o  
 10    equivalente iónico, que tiene una concentración de NH<sub>4</sub>Cl de entre 10 g/L y 150 g/L de H<sub>2</sub>O y una concentración de  
 NH<sub>3</sub> de entre 20 g/L de H<sub>2</sub>O y 250 g/L de H<sub>2</sub>O, para producir un lixiviado que contiene zinc y un residuo sólido;
- depurar el amoniaco a partir del lixiviado para producir un licor depurado que incluye un precipitado que contiene  
 15    zinc, el licor depurado que tiene una concentración de NH<sub>3</sub> de entre 7 y 30 g/L de H<sub>2</sub>O;
- separar el precipitado que contiene zinc a partir del licor depurado; y
- convertir el precipitado que contiene zinc recuperado en óxido de zinc utilizando una o ambas de las etapas de:
- tostar el precipitado que contiene zinc a una temperatura de entre 400 a 900°C; o
- 20    hidrólisis del precipitado que contiene zinc en agua que tiene una temperatura de entre 80 y 300°C.
2. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el mineral de zinc incluye un contenido de mineral de  
 25    carbonato de zinc y/o un contenido de mineral de silicato de zinc, preferiblemente comprende un mineral de  
 carbonato de zinc o un mineral de silicato de zinc.
3. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que:
- el mineral de zinc comprende un mineral de carbonato de zinc o concentrado de mineral de carbonato de zinc y la  
 30    etapa de tostar el mineral de zinc se conduce entre 200°C y 800°C; o
- el mineral de zinc comprende un mineral de sulfuro de zinc o concentrado de mineral de sulfuro de zinc y la etapa de  
 tostar el mineral de zinc se conduce entre 600 y 900°C.
4. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el licor depurado tiene un pH  
 35    mayor de 7.
5. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la etapa de depuración incluye una  
 etapa del proceso depuración de aire.
- 40    6. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que incluye adicionalmente la etapa de utilizar al  
 menos una porción de la energía exotérmica de la etapa de tostar el mineral de zinc en la etapa de depuración de  
 amoniaco.
- 45    7. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que los cristales que contienen zinc  
 se precipitan en el licor depurado en la forma de al menos uno de hidróxido de zinc (Zn(OH)<sub>2</sub>), cloruro de hidroxilo de  
 zinc (Zn<sub>5</sub>(OH)<sub>8</sub>Cl<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O), óxido de zinc (ZnO), o carbonato de zinc (ZnCO<sub>3</sub>) o una combinación de los mismos.
8. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la etapa de convertir el  
 50    precipitado que contiene zinc recuperado incluye la etapa de:
- hidrólisis del precipitado que contiene zinc en agua que tiene una temperatura de entre 80 y 200°C.
9. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la etapa de convertir el  
 55    precipitado que contiene zinc recuperado incluye la etapa de:
- secar el precipitado que contiene zinc a una temperatura de entre 80 y 300°C.
- 60    10. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la etapa de convertir el  
 precipitado que contiene zinc recuperado incluye las etapas de:
- una primera etapa de tostado en la que el precipitado que contiene zinc se tuesta a una temperatura de entre 300 a  
 500°C; y
- una segunda etapa de tostado en la que los sólidos tostados se tuestan adicionalmente entre 300 a 900°C.
- 65

11. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 10, en el que después de la primera etapa de tostado, el precipitado tostado que contiene zinc experimenta una etapa de lixiviación con agua para producir un sólido lixiviado.

5 12. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que la etapa de convertir el precipitado que contiene zinc recuperado incluye las etapas de:

hidrólisis del precipitado que contiene zinc en agua que tiene una temperatura de entre 80 y 300°C; y

10 tostar el precipitado que contiene zinc a una temperatura de menos de 500°C.

13. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el  $ZnCl_2$  se volatiliza en una etapa de tostado e incluye adicionalmente al menos una de las siguientes:

15 condensar el  $ZnCl_2$  y separarlo para la venta como  $ZnCl_2$  anhidro; o

capturar el  $ZnCl_2$  en un licor acuoso y reciclar este licor a una etapa de proceso precedente.

20 14. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, que incluye adicionalmente al menos una de las etapas de:

concentrar el mineral que contiene zinc antes de la lixiviación; o

triturar el mineral que contiene zinc antes de la lixiviación.

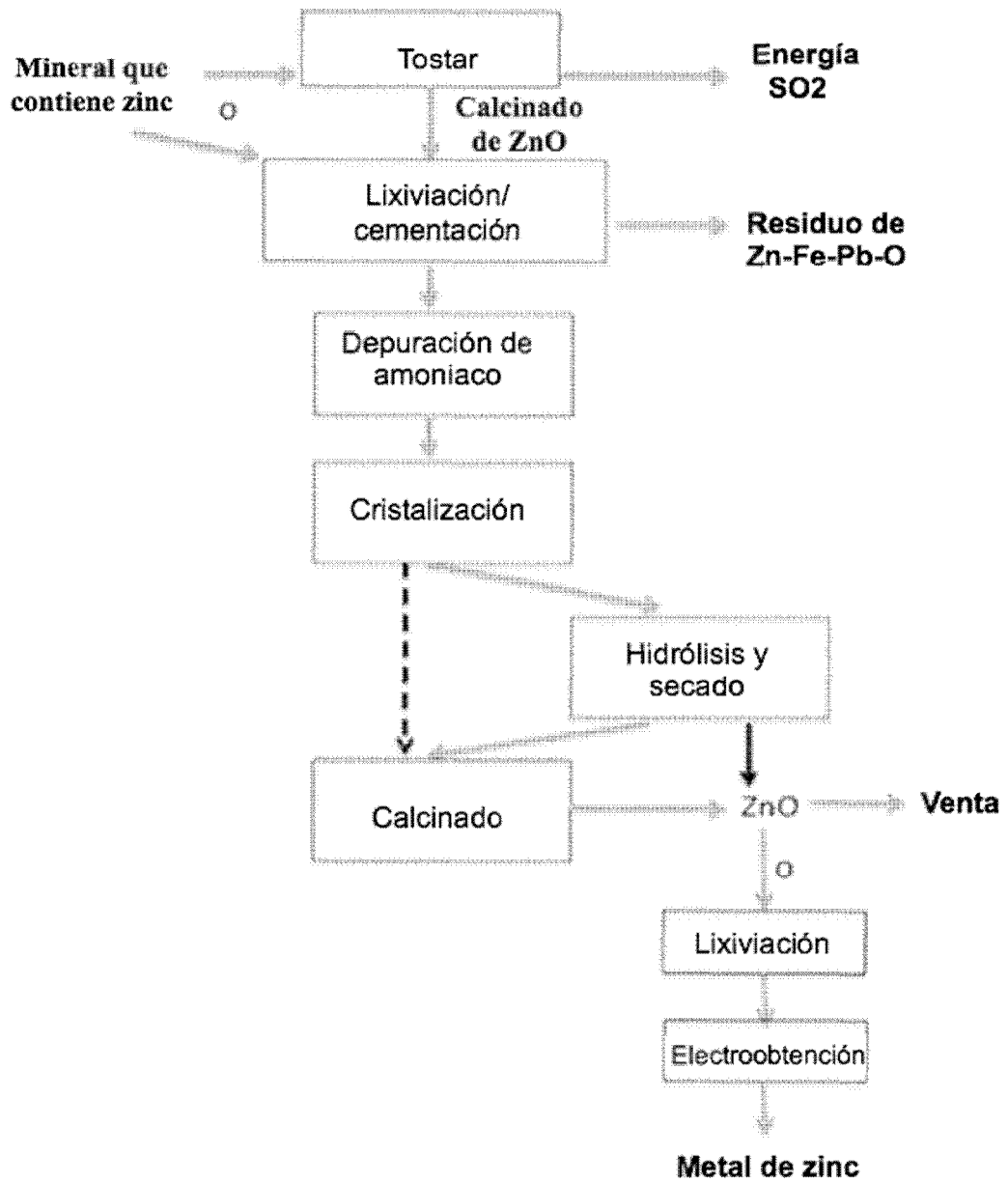


Figura 1

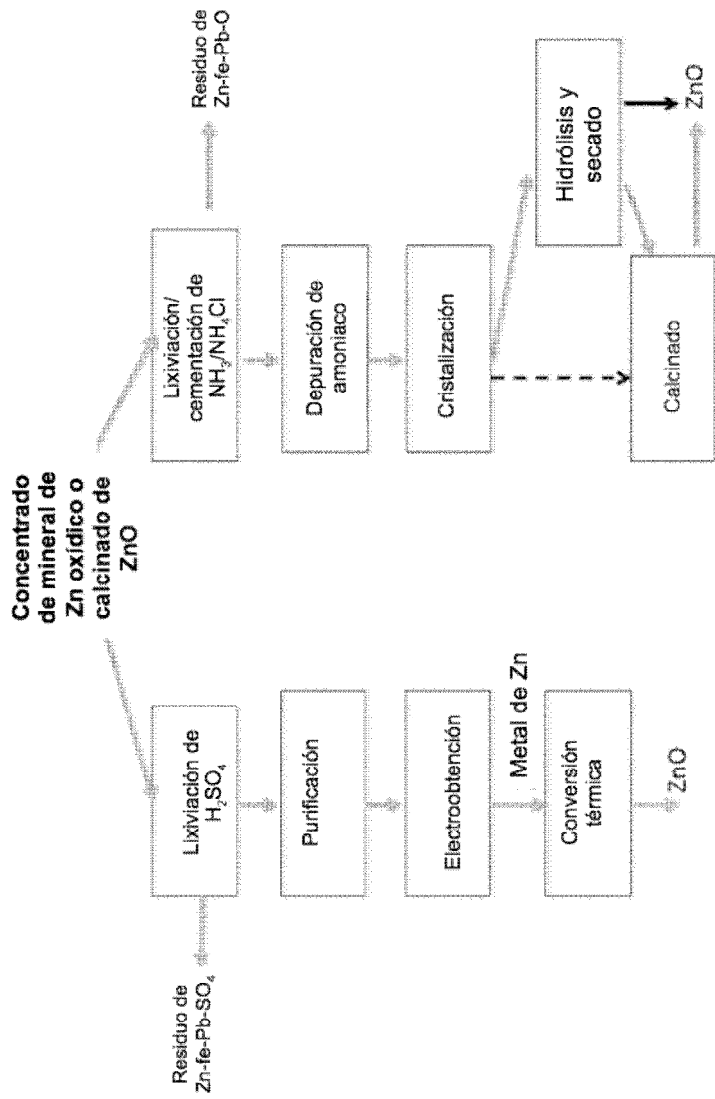


Figura 2

Concentrado de mineral de Zn  
oxidico o calcinado de ZnO

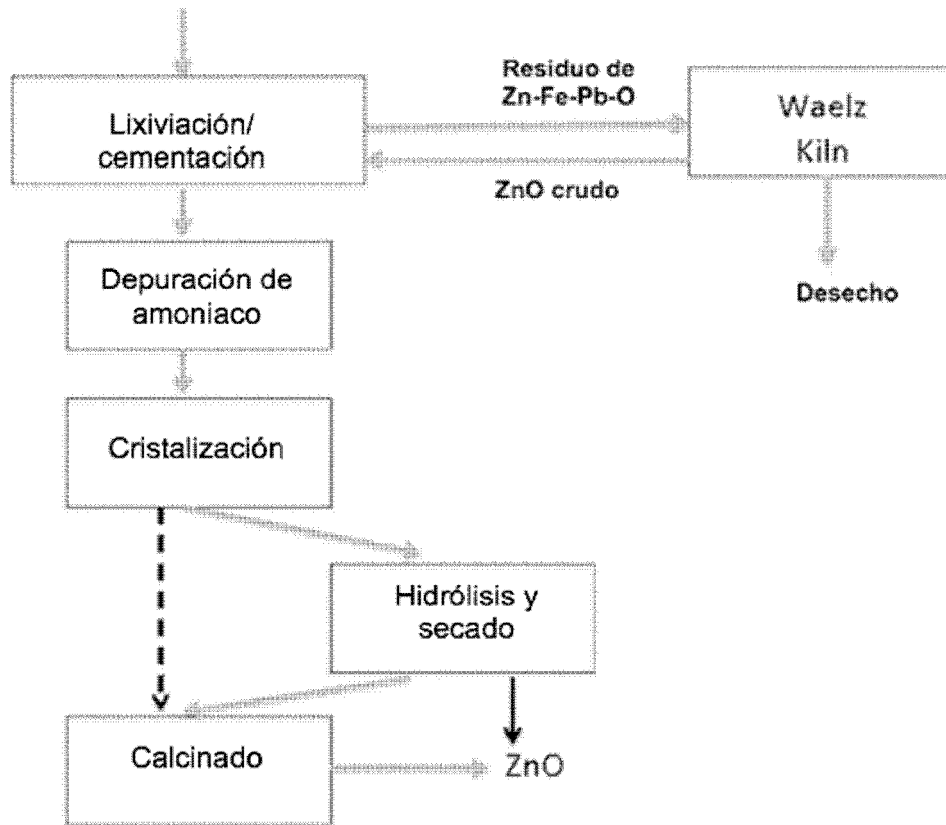
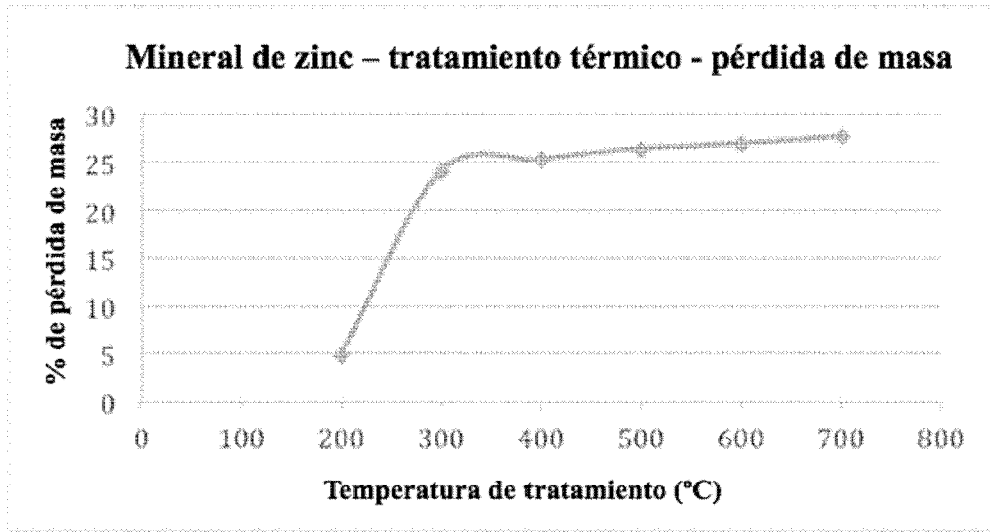
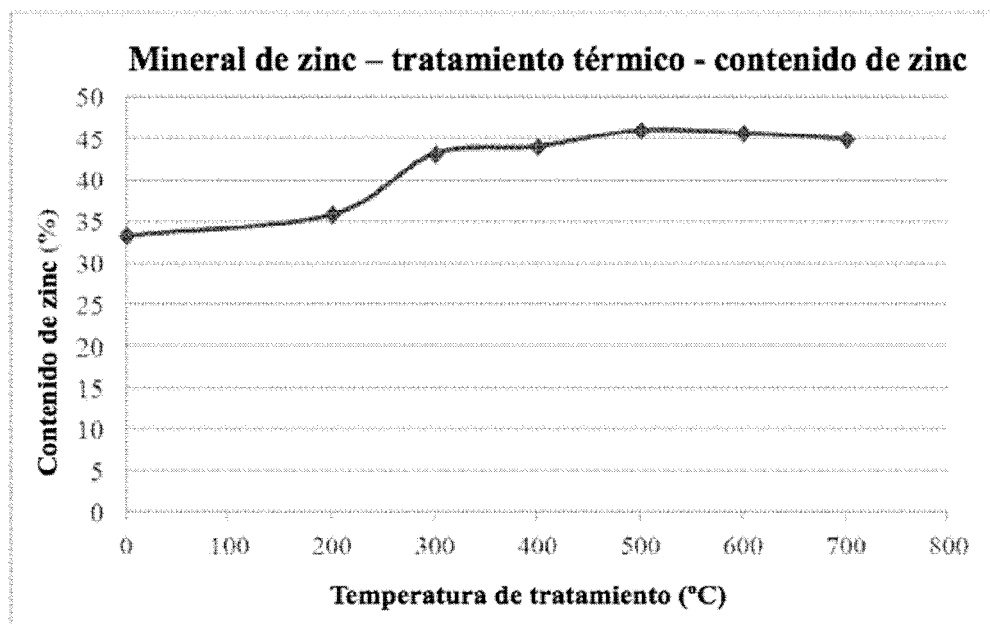


Figura 3

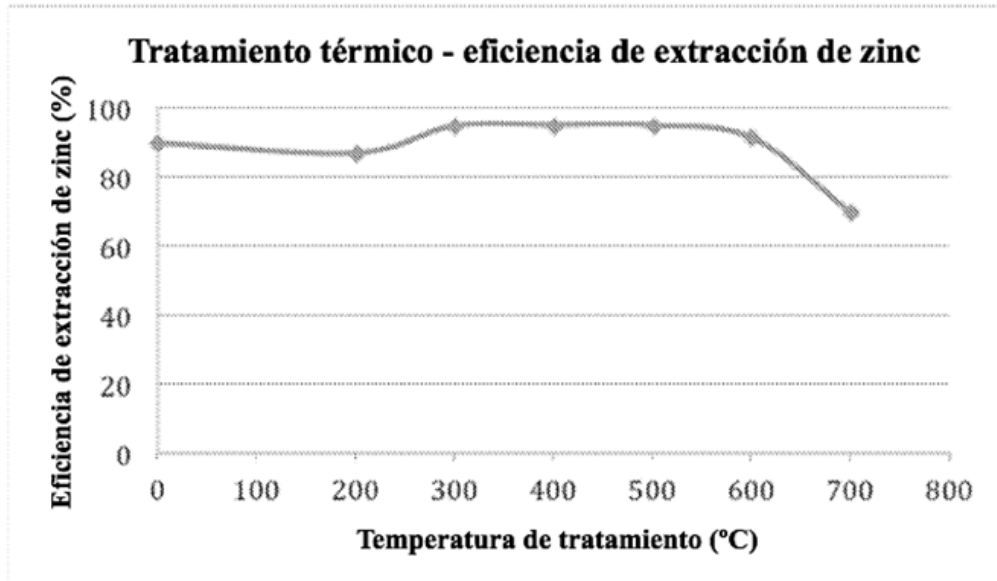




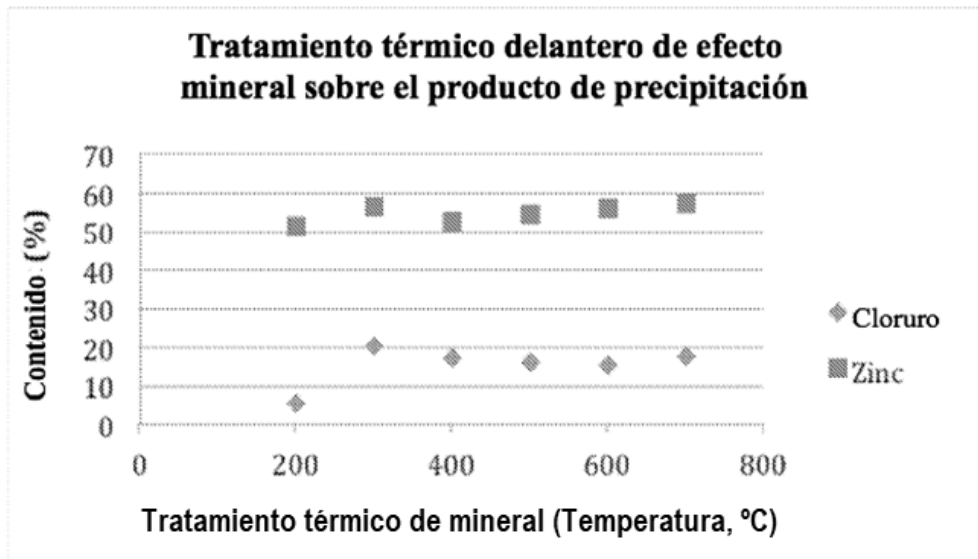
**Figura 4**



**Figura 5**



**Figura 6**



**Figura 7**