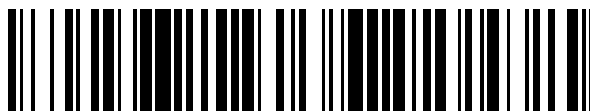


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 374 785**

51 Int. Cl.:  
**C22B 23/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **02781661 .0**
- 96 Fecha de presentación: **17.12.2002**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **1697549**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.09.2006**

54 Título: **UN PROCEDIMIENTO PARA LA EXTRACCIÓN DE NÍQUEL A PARTIR DE MINERAL POBRE DE CROMITA.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**22.02.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**22.02.2012**

73 Titular/es:  
**COUNCIL OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL  
RESEARCH  
RAFI MARG  
NEW DELHI 110 001, IN;  
NATIONAL ALUMINIUM COMPANY LIMITED y  
NATIONAL MINERAL DEVELOPMENT  
CORPORATION LIMITED**

72 Inventor/es:  
**DAS, Radhanath, Prasad;  
TRIPATHY, Anil, Kanta;  
ANAND, Sashi;  
DAS, Sudipta;  
BEHERA, Snehasis;  
MURTHY, B., V. Raman;  
BHOI, Bhagyadhar;  
DATTA, Parthasarathi;  
GHOSH, Malay, Kumar;  
SANJAY, Kali;  
DAS, Subir;  
SUBBAIAH, Tondepu;  
RAO, Karnam, Srinivas;  
BHATTACHARYA, Indira, Narayan;  
PARLIKAR, Ramchandra, Nagesh;  
YUGANDHAR, Gajula, Venkata;  
ASHUTOSH, Ugle;  
SIMHA, Hari;  
RAO, Kataram, Rajeswara;  
PRASAD, Kodli Hiranya Varna;  
SINGHVI, Rajendra Kumar;  
SINGH, Vakil;  
MITTAL, Baij Nath y  
AGARWAL, Bhuban Lal**

74 Agente: **de Elizaburu Márquez, Alberto**

ES 2 374 785 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

Un procedimiento para la extracción de níquel a partir de mineral pobre de cromita.

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la extracción de níquel de minerales pobres de cromita. En particular, la presente invención se refiere a un procedimiento para la extracción de níquel y cobalto a partir de mineral pobre de cromita.

**Técnica antecedente**

10 El níquel es un metal estratégico que tiene uso en el acero, productos químicos, en criogenia, en el procesamiento de alimentos y en la industria aeroespacial. El consumo actual de níquel en India se estima que es de 20.000 toneladas al año (tpa) y su crecimiento anual es de 5-7%. Con un rápido desarrollo industrial, la demanda de ferroníquel probablemente superará la cifra prevista. La mayor parte de la demanda de níquel se satisface actualmente con las importaciones, que suponen un intercambio con el exterior de aproximadamente Rs.1000 crores por año. El cobalto es también un metal estratégico y su demanda en India es de aprox. 150 tpa. En el procedimiento actual, el cobalto se recupera como subproducto. El único depósito de níquel en India está en la región de Sukinda de Orissa. Se estima que los recursos son de aproximadamente 32 millones de toneladas de depósitos lateríticos en la región de Sukinda, que tienen aprox. 1% de níquel en el mineral que no es cromita y aproximadamente 200 millones de toneladas como mineral cromita pobre que tiene una media de 0,7% de níquel. Para una explotación comercial cualquiera del depósito de Sukinda durante un período de tiempo razonable, el mineral cromita pobre será la fuente más grande. El apilamiento de mineral pobre (que no se puede explotar para recuperar la cromita) en la región de Sukinda ha conducido a un problema medioambiental. Destruye bosques naturales en torno a las minas y puede contribuir al vertido de cromo hexavalente en la corriente de agua. Hoy en día no está operativa en el mundo una planta que use tales materiales tan pobres en níquel, en particular, mineral pobre de cromita.

25 Los depósitos más importantes de mineral óxido están en Indonesia, Filipinas, Cuba, República Dominicana Colombia y Nueva Caledonia. Si bien el mineral de Colombia es acaso el más rico, con más de 2,9% de níquel, los minerales más pobres que se están usando comercialmente son de Nicaro, Cuba y Kazakastan, que contienen aprox. 1,1% de níquel. El mineral desechado de cromita pobre, generado en Sukinda, región de Orisa, India, tiene de media sólo aprox. 0,7% de níquel.

30 Se puede hacer referencia de uno de los procedimientos convencionales para la disolución de níquel de estas lateritas por lixiviación ácida a presión para la que funciona una planta comercial en Moa Bay (E.T. Carlson, C.S. Simons, Journal of Metals, 1960, 198(3), págs. 206-213) y se ha montado otra planta en Australia, basada en extracción por lixiviación a presión con disolvente. El otro procedimiento es por tostación-reducción seguidas de lixiviación amoniacal y se denomina procedimiento de Caron (M.S. Caron, patente U.S. n.º. 1.487.145, 18 de marzo de 1924). Están operativas varias plantas comerciales, incluidas una en Nicaro, Cuba, y otra en Greenvale, Australia. Desde entonces muchas Conferencias Internacionales se han dedicado a los avances en la metalurgia del níquel y cobalto (por ejemplo, International Laterite Symposium, AIME-SME Annual Meeting, New Orleans, febrero de 1979; International Symposium on Nickel Metallurgy, celebrado en Montreal 1986; Symposium on Metallurgy of Nickel and Cobalt, celebrado en Arizona, 25 a 18 de enero de 1988; Nickel and Cobalt 97-International Symposium celebrado en Sudbury, Ontario, Canadá de 17 a 20 de agosto de 1997). El procedimiento comercial más ampliamente aplicable es todavía el procedimiento de Caron (M.H. Caron, Journal of Metals, 1950, vol. 188(1), págs. 67-90). En este procedimiento, el níquel se reduce y se trata con solución de carbonato amónico-amoniaco en presencia de aire comprimido. Durante la lixiviación, el níquel y el cobalto reducidos forman complejos amina solubles y el hierro reducido pasa a solución primeramente como amina ferrosa y posteriormente se oxida a óxido férrico hidratado. El tiempo requerido para disolución casi completa de los metales deseados y la precipitación del hierro en plantas comerciales es de aproximadamente 6 horas. Aunque la mayor parte del níquel está presente en el mundo como óxido, la fuente más importante de la producción de níquel son los sulfuros de níquel debido a la facilidad de su beneficio. Pero con el agotamiento de minerales de sulfuro de níquel ricos está aumentando lentamente el uso de óxidos en la extracción de níquel. Actualmente, aproximadamente 40% del níquel se produce a partir de mineral de óxido.

50 G.N. Banerjee y otros describen en *Studies on Reduction Roasting of Chromite Overburden in a Multiple Hearth Furnace for Extraction of Nickel and Cobalt* (Trans. Indian Inst. Metals, vol. 54, n.º. 5, octubre 2001, págs. 193-198) un estudio referente a la extracción de níquel y cobalto de una sobrecarga de cromita (COB) de Sukinda, Orissa, que contiene de 0,3% a 1,1% de Ni y rastros de cobalto (0,02-0,06%) usando tostación reductora seguida de un procedimiento de lixiviación amoniacal.

**Inconvenientes de los procedimientos anteriores**

- (i) Todos los procedimientos para extraer níquel y cobalto conocidos hasta ahora usan mineral de níquel que contiene aprox. de 1,1 a 1,5% de Ni. Nunca se ha usado en el mundo mineral pobre de cromita de contiene de 0,5 a 0,9% de níquel en procedimiento alguno seguido de lixiviación con solución de amoniaco-carbonato amónico.
- 5 (ii) No hay disponibles resultados de trabajo experimental de ensayo continuo para mineral pobre de cromita.
- (iii) En todas las plantas existentes se mezcla el combustible con el mineral seco antes de suministrarlo al horno para la reducción, y ahora la etapa de reducción se ha realizado aquí sin mezclar el combustible antes de la reducción del mineral.
- 10 (iv) Las presentes plantas usan aire comprimido para la oxidación y disolución de níquel en los reactores de lixiviación. Se requiere un tiempo de retención de aproximadamente 6 horas para completar la disolución de níquel y la precipitación de hierro. No se ha dado cuenta de esfuerzos desarrollados para reducir el tiempo de retención.
- (v) El uso de aire comprimido durante la lixiviación requiere elaborar un sistema de recuperación de amoniaco para minimizar pérdidas de los gases de purga.
- 15 (vi) Los residuos de la lixiviación obtenidos después de la recuperación de Ni del mineral laterítico contienen principalmente magnetita. Estos residuos se pueden desechar. No se ha dado cuenta de esfuerzos desarrollados para la utilización de estos residuos.
- Debido a la falta de información sobre la utilización de material que contiene poco níquel, tal como mineral pobre de cromita, nunca se han realizado estudios para explotar esta fuente con el fin de recuperar níquel y cobalto.

**Objetivos de la presente invención**

- 20 El objetivo principal de la presente invención es proporcionar un procedimiento para la extracción de níquel de mineral pobre de cromita.
- Otro objetivo de la presente invención es intensificar la velocidad de lixiviación con oxígeno gas.
- Otro objetivo más de la presente invención es usar aire comprimido a elevada presión, en el intervalo de 0,02 a 0,15 MPa, para reducir el tiempo de retención durante la etapa de lixiviación.
- 25 Es aún otro objetivo de la presente invención usar oxígeno gas a elevada presión, en el intervalo de 0,05 a 0,15 MPa, para reducir el tiempo de retención durante la etapa de lixiviación.
- Un objetivo más de la presente invención es utilizar el residuo de lixiviación en cuanto a su contenido de magnetita.

**Sumario de la presente invención**

- 30 Consecuentemente, la presente invención proporciona un procedimiento para la extracción de sal de níquel de mineral pobre de cromita.

**Breve descripción de los dibujos que se acompañan**

En los dibujos que acompañan la presente memoria:

- La Figura 1 representa un diagrama de bloque esquemático del procedimiento de extracción de níquel de una carga de cromita.
- 35 La Figura 2 representa el presente diagrama de flujo del procedimiento para la Sección 100 (trituration, secado y molienda).
- La Figura 3 representa el diagrama de flujo del procedimiento para la Sección 200 (tostación reductora).
- La Figura 4 (a) representa el diagrama de flujo del procedimiento para la Sección 300 (lixiviación con oxígeno gas).
- 40 La Figura 4 (b) representa el diagrama de flujo del procedimiento para la Sección 300 (lixiviación en la primera etapa con aire).
- La Figura 4 (c) representa el diagrama de flujo del procedimiento para la Sección 300 (lixiviación en la segunda etapa con aire).

La Figura 5 representa el diagrama de flujo del procedimiento para la Sección 400 (decantación en contracorriente).

La Figura 6 representa el diagrama de flujo del procedimiento para la Sección 500 (precipitación de BNC, eliminación y recuperación de amoníaco).

**Descripción detallada de la presente invención**

- 5 La presente invención proporciona un procedimiento para la extracción de níquel de un mineral pobre de cromita que contiene de 0,6 a 0,9% de níquel, procedimiento que comprende las etapas de:
- (a) triturar, secar y moler el mineral de cromita para obtener mineral de cromita triturado que tiene un tamaño de partícula que varía de malla 100 a 400 B.S.S. (150  $\mu\text{m}$  a 40  $\mu\text{m}$ );
  - (b) tostar el mineral de cromita triturado de la etapa (a) para efectuar la reducción;
  - 10 (c) enfriar del mineral tostado;
  - (d) mezclar el mineral reducido enfriado de la etapa (c) con una solución de lixiviación que contiene amoníaco y carbonato amónico para formar una pulpa, hacer pasar oxígeno o aire a través de la pulpa y envejecer la pulpa durante 45 minutos a 6 horas para efectuar la lixiviación;
  - 15 (e) oxidar la pulpa lixiviada de la etapa (d) en presencia de amoníaco en exceso para obtener una solución de lixiviación fértil y residuo de lixiviación;
  - (f) separar la solución de lixiviación fértil del residuo de lixiviación y lavar la pulpa con solución de amoníaco-carbonato amónico, y
  - (g) eliminar amoníaco de la solución de lixiviación fértil de la etapa (f) para efectuar la precipitación de níquel y cobalto disueltos en forma de sus respectivas sales.
- 20 En una realización de la presente invención, el mineral pobre de cromita contiene de 0,6 a 0,9% en peso de Ni, de 0,034 a 0,044% en peso de Cu, de 43 a 53% en peso de Fe, de 2,42 a 2,72% en peso de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y de 6,9 a 8,8% en peso de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , siendo el resto impurezas.
- En otra realización de la presente invención, en la etapa (a) el 85% del mineral de cromita triturado tiene un tamaño de partícula de malla 200 B.S.S (75  $\mu\text{m}$ )
- 25 En otra realización más de la presente invención, en la etapa (b) se tuesta mineral pobre de cromita en un horno de multihogar a una temperatura del gas de aproximadamente 600 a 800°C para efectuar la reducción.
- En otra realización de la presente invención, del mineral pobre de cromita triturado se suministra al horno multihogar con o sin mezclas gasóleo.
- 30 En una realización más de la presente invención, del mineral pobre de cromita triturado se reduce haciendo pasar  $\text{CO}/(\text{CO}+\text{CO}_2)$  y  $\text{H}_2$  que tiene un potencial de reducción de 0,2 a 0,6 a través del horno multihogar.
- En otra realización de la presente invención, en la etapa (c) el mineral de cromita tostada se enfría a una temperatura inferior a 250°C.
- En otra realización de la presente invención, en la etapa (d) la solución de lixiviación contiene de 60 a 90 g/l de amoníaco y de 80 a 120 g/l de carbonato amónico.
- 35 En otra realización de la presente invención, en la etapa (d) la presión del oxígeno o el aire comprimidos está en el intervalo de 0,02 a 0,15 MPa.
- En otra realización de la presente invención, si se usa oxígeno en la etapa (d), la pulpa se envejece durante 45 minutos a 2 horas.
- En otra realización de la presente invención, si se usa aire en la etapa (d), la pulpa se envejece durante 3 a 6 horas.
- 40 En otra realización más de la presente invención, en la etapa (f) la pulpa se lava con solución de amoníaco-carbonato amónico usando la técnica de decantación en contracorriente.
- En otra realización de la presente invención, en la etapa (g) se elimina amoníaco de la solución de lixiviación fértil haciendo pasar vapor de agua a través de la misma.

En otra realización de la presente invención, se recupera el amoníaco eliminado de la solución de lixiviación fértil y se reutiliza.

En otra realización de la presente invención, en la etapa (g) el níquel disuelto precipita como sal básica de níquel.

5 En otra realización de la presente invención, la sal de níquel disuelto precipita como carbonato básico de níquel (BCN).

En otra realización más de la presente invención, en la etapa (g) el cobalto disuelto coprecipita junto con el níquel como sal de cobalto.

En otra realización más de la presente invención, el residuo de lixiviación obtenido en la etapa (f) se usa para extraer la fracción magnética.

10 En otra realización más de la presente invención, la fracción magnética obtenida se separa por la técnica de separación magnética en húmedo.

En una o varias realizaciones más de la presente invención, la fricción magnética así obtenida se usa para la producción de hierro bajo en fósforo.

La novedad de la presente invención descansa en los siguientes factores:

15 (1) Uso de mineral pobre de cromita para la extracción de níquel, cobalto y hierro.

(2) Tostación reductora sin mezcla previa de un aditivo tal como aceite.

(3) Uso de oxígeno/aire durante la lixiviación a elevada presión.

(4) Generación de un residuo de magnetita adecuado para lavaderos de carbón.

(5) Generación de magnetita con un contenido bajo en fósforo para la producción de hierro bajo en fósforo.

20 El diagrama esquemático de bloque del procedimiento se muestra en la Fig. 1. Las etapas principales del procedimiento se dividen en las etapas siguientes:

1. Secado del mineral y trituración.

2. Tostación reductora.

3. Lixiviación amoniacal.

25 4. Lavado en contracorriente y decantación.

5. Precipitación de carbonato básico de níquel, eliminación de amoníaco y recuperación.

6. Ensayo de la utilización del residuo.

30 Se ha montado una planta piloto junto con el Council of Scientific and Industrial Research (CSIR) e Hindustan Zinc Limited (HZL) en la sede del Regional Research Laboreatory, Bhubaneswar 751013. La planta piloto usada para realizar el trabajo de producción de sal de níquel a partir del mineral pobre de cromita está dividida en las siguientes cinco secciones, que son:

Sección 100: Preparación del Mineral

Sección 200: Tostación Reductora

Sección 300: Lixiviación

35 Sección 400: Decantación en Contracorriente

Sección 500: Precipitación de Sal de Níquel

Los otras equipos suministrados son:

1. Generador de gas de producción

2. Compresor de aire con instrumentación

3. Compresor de aire alternativo

4. Torre de refrigeración

5. Caldera

6. Extintor de fuego.

5 Seguidamente se describen los principios operativos de cada sección:

Preparación del mineral (Sección 100, Etapa 1)

10 En la Fig. 2 se muestra el diagrama de flujo para la Sección 100 (preparación del mineral). La materia prima se almacena en la zona de almacenamiento SY-101, que es una zona a nivel del suelo con una curvatura adecuada en los cuatro lados para evitar que se disperse el material. SY-101 está situado dentro de un cercado cubierto para evitar la incorporación de lluvia o agua. La materia prima se carga manualmente en un recipiente CN-101 montado sobre una vagoneta TR-101. La vagoneta está colocada bajo la grúa eléctrica EH-101. La grúa eléctrica eleva el recipiente CN-101 y descarga la materia prima en una criba GR-101. El material con un tamaño de aprox. 50 mm pasa a través de GR-101 y se suministra a la tolva H-101. El material de un tamaño mayor se rompe manualmente y se suministra nuevamente a la criba GR-101.

15 El material recogido en la tolva H-101 es suministrado a un triturador de rodillos de garras JC-101 a través de un alimentador vibratorio VP-1012. JC-101 reduce el tamaño de la materia prima a aprox. 6 mm. El material de tamaño demasiado grande (> 6 mm) del triturador de garras JC-101 pasa a un triturador de rodillos RC-101. El material con tamaño adecuado resultante de la acción combinada de la unidad de triturador JC-101 y el triturador de rodillos RC-101 se descarga en una cinta transportadora BC-101 que lo suministra a un elevador de baldes BE-101. El elevador suministra el material a un arcón de almacenamiento elevado H-102 que descarga el material en el alimentador de tornillo SF-101. La descarga de SF-101 se suministra a una secadora de tambor D-101. El material se seca en corriente en la secadora de tambor D-101 haciendo pasar productos de la combustión de combustible en la cámara de combustión CC-101 de la secadora. ST-102 proporciona combustible al quemador unido a la cámara de combustión. Este tanque recibe el combustible de la unidad principal de almacenamiento de combustible. El aire se suministra a la cámara de combustión mediante la soplante de paletas B-101. El producto de la secadora es material seco con una humedad libre de 1-3% y una humedad combinada de 10-11%. El material de D-101 se recoge en la tolva H-103.

30 El material seco de la tolva H-103 se suministra al molino de bolas BM-101 a la velocidad especificada mediante una válvula rotatoria RV-101. La válvula rotatoria también impide el ingreso de aire en el molino de bolas cuando se está suministrando material al molino. Una soplante B-102 suministra aire al molino de bolas que es del tipo de barrido de aire. En el molino de bolas BM-101, el material seco se reduce a un tamaño de aproximadamente un 85% de malla 200 B.S.S. (75 µm).

35 La parte de finos de la descarga de la secadora de tambor D-101 va directamente al arcón de almacenamiento diario H-104 mediante el elevador BE-102 a través de un separador de ciclón C-101. La descarga del molino de bolas BM-101 pasa a través de un separador de ciclón C-102, la válvula rotatoria RV-102 y se recoge en el arcón de almacenamiento diario H-104 mediante el elevador de baldes BB-102. El gas/aire que contiene partículas sólidas que proceden de la secadora y el molino de bolas pasa a través de los separadores de ciclón C-101 y C-102, los filtros de saco BF-101 y BF-102 y se descarga el gas/aire mediante las soplantes B-104 y B-103 a la atmósfera a través de las chimeneas STA-101 y STA-102, respectivamente.

40 El arcón de almacenamiento H-104 tiene una capacidad de almacenamiento de materia prima seca requerida para un día (aprox. 10 toneladas). El material de H-104 se descarga en un recipiente de vagoneta CN-102A&B que está colocado en una vagoneta TR-102 A/B. CN-102A/B tiene una capacidad de aprox. 0,5 toneladas. El combustible (cuando se requiere) se carga manualmente con el mineral y la vagoneta se empuja sobre raíles por debajo de un elevador EH-102 que levanta el recipiente y descarga el material en la tolva H-105 encima de MHF-201. Desde la tolva, el material se suministra al transportador de tornillo SC-101 a la velocidad requerida. La velocidad de suministro a MHF-201 puede variarse ajustando la válvula dispuesta en la descarga de la tolva H-105. Hay una válvula rotatoria RV-103 situada a la salida del transportador de tornillo SC-101 para suministrar COB a una velocidad constante a MHF. Esto también evita el escape de gases desde MHF a la atmósfera.

50 El tanque de almacenamiento de combustible ST-101 recibe el combustible del tanque principal de almacenamiento de combustible y suministra combustible a la cámara de combustión de MHF-201.

Tostación reductora (Sección 200, Etapa 2)

El diagrama de flujo para la tostación reductora se muestra en la Fig. 3.

La materia prima preprocesada de la Sección 100 (85% de malla 200 B.S.S. [95  $\mu\text{m}$ ] que contenía 1-3% de humedad libre) se suministra al horno multihogar MHF-201 desde la tolva H-105. MHF tiene una capacidad de procesamiento de 500 kg por hora. El MHF-201 es un horno de 17 hogares (0-16) con cuatro brazos de remoción por hogar. La materia prima que está en el MHF se calienta por gases que vienen de la cámara de combustión CC-201 A y B. Los productos de las cámaras de combustión se suministran a MHF-201 a través de conductos adecuados para conducir los gases a los hogares n<sup>os</sup>. 15, 13 y 11. Las dos cámaras de combustión están situadas diametralmente opuestas entre sí. Los brazos de remoción giran mediante un eje central que está refrigerado por aire. Una soplante B-202 suministra el aire de enfriamiento al eje. El aire caliente, después de haber enfriado el eje central se usa para precalentar los hogares y se elimina parcialmente por la chimenea STA-201.

Las cámaras de combustión CC-201 A/B están alimentadas por gasóleo Diesel ligero (LDO) desde el tanque de almacenamiento ST-101 (ref. Fig. 2). El aire de combustión requerido es suministrado por la soplante B-201. Los quemadores de las cámaras de combustión son del tipo de quemado de combustible dual, con la posibilidad de quemar también gas de producción. El suministro de combustible a CC-202 A/B se mide mediante transmisores de caudal.

El MHF-201 se puede dividir en tres zonas. La primera zona que comprende los hogares 0 a 3 es la zona de precalentamiento. Los hogares 4 a 14 comprenden la zona de tostación reductora y los hogares 15 y 16 comprenden la zona de estabilización. El tiempo de residencia total en el MHF puede controlarse variando la velocidad del eje. Los gases de corriente, compuestos por CO, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>, de CC-201A/B se ponen en contacto con el material de alimentación a través de conductos de gas caliente en la zona de tostación reductora y se reduce el material. La atmósfera reductora se mantiene en el MHF-201 inyectando adicionalmente LDO/gas de producción nuevo a través de boquillas situadas en esta zona. La velocidad de adición del gas de producción se puede medir con un transmisor de caudal. Se mantiene la relación CO-CO<sub>2</sub> deseada. El CO y el H<sub>2</sub> sin reaccionar del gas reductor se queman en la zona de precalentamiento inyectando aire caliente que se suministra mediante la soplante B-202 de enfriamiento del eje. El MHF-201 está provisto de boquillas para muestreo de gas y sólido en varios puntos. El perfil de temperaturas del MHF-201 se mide y registra por un escáner multipuntual de temperaturas.

Los gases calientes de la corriente a aproximadamente 450°C salen del MHF-201 por arriba. Cualquier sólido arrastrado en los gases de la corriente se recupera en el sistema de recogida de polvo que comprende un separador multiciclón C-201. Los sólidos se reintroducen en el MHF-201 mediante una válvula rotatoria motorizada. Luego se hacen pasar los gases de C-201 a través de la torre de lavado de venturi VS-201 y la parrilla S-201 antes de descargarlos a la atmósfera con la soplante B-203. Se hace circular agua usando la bomba P-201 en la torre de lavado de venturi VS-201 y la parrilla S-201 a una velocidad constante para enfriar y limpiar los gases exhaustos.

El mineral pobre de cromita reducido de MHF-201 se descarga en el transportador de tornillo encamisado SC-201A. Se hace circular agua en la camisa para enfriar el mineral pobre de cromita reducido. El material enfriado se conduce a través de otros transportador de tornillo SC-201B al tanque de enfriamiento rápido SV-301. La temperatura del material enfriado es inferior a 250°C.

#### Lixiviación

En la sección de lixiviación hay dos opciones, a saber:

(i) uso de oxígeno durante la lixiviación a elevada presión.

(ii) uso de aire comprimido a elevada presión.

*Lixiviación usando oxígeno gaseoso a elevada presión.* El diagrama de flujo para la lixiviación con oxígeno gas se muestra en la Fig. 4 (a). El mineral reducido después de enfriado en SC-201A&B se descarga continuamente en atmósfera cerrada en el tanque de enfriamiento rápido SV-301. El tanque recibe una solución que contiene amoníaco, carbonato amónico y níquel mediante dos corrientes separadamente de ST-301 usando la bomba P-304 (después de enfriarla a aproximadamente 38°C en un intercambiador de calor de tubo doble E-301) y del tanque de almacenamiento ST-401 usando la bomba P-401 (ref. Fig 5). La solución de amoníaco-carbonato amónico se puede suministrar al tanque de enfriamiento rápido SV-301 desde los tanques de preparación de solución SV-401/SV-502 usando las bombas P-507 y P-508 (ref. Fig. 6) para obtener la concentración de lixivante requerida. El refrigerante de E-301 es agua de enfriamiento. En el tanque de enfriamiento rápido SV-301 se añaden los sólidos calientes al licor de enfriamiento para obtener la concentración de pulpa requerida con una temperatura a la salida en torno a 40°C. La pulpa enfriada se bombea al primer reactor, R-301A, con la bomba P-301. La pulpa fluye al reactor R-301B por gravedad. Se suministra oxígeno a los reactores de lixiviación manteniendo la presión medida deseada. El

5 suministro de oxígeno a los reactores se controla por válvulas de control de la presión que se mantienen a la presión deseada. La pulpa, después de la lixiviación, pasa al espesador TH-301A de la pulpa de lixiviación debido a la presión en el reactor R-301B. La lixiviación oxidante con amoníaco se hace en presencia de amoníaco en exceso para evitar la precipitación de níquel y cobalto como hidróxidos, resultando un pH de aproximadamente 10-11 en la solución fértil de la lixiviación. La corriente inferior espesada de TH-301A es bombeada a la sección CCD por las bombas P-302 a TH-401A. La corriente superior de TH-301A fluye por gravedad a ST-301.

10 Los caudales de pulpa enfriada, pulpa lixiviada y soluciones de lixiviación fértiles a la sección para precipitación de sal de níquel y enfriar los tanques se controlan por válvulas y los caudales se indican por indicadores/transmisores. Como se ha indicado antes, parte de la solución de lixiviación del tanque de almacenamiento ST-301 se bombea a SV-301 mediante el enfriador E-301. La otra parte del licor de lixiviación va al filtroprensa FI-301A&B por la acción de la bomba P-303. El filtrado se recoge en el tanque de almacenamiento ST-304 del que la bomba P-305 lo envía a la torre T-501.

15 *Lixiviación usando aire comprimido a elevada presión.* El procedimiento para lixiviar con aire comprimido es similar, excepto que hay más reactores y espesores para tener tiempos de retención más largos. Los diagramas de flujo para la lixiviación usando aire comprimido se muestran en las Figuras 4 (b) y 4 (c).

20 En el caso de la lixiviación con aire, la operación de lixiviación se realiza en dos etapas, de las que la primera consta de cuatro reactores R-301A a R-301D, y la segunda consta de tres reactores, R-301E a R-301G. El flujo de pulpa entre los reactores dentro de cada etapa es por gravedad. El último reactor de la primera etapa, R301D, descarga la pulpa por gravedad al primer espesador TH-301A, desde el cual la corriente inferior se bombea al primer reactor de la segunda etapa R-301E. La solución clara que fluye por arriba desde TH-301A se recoge en el tanque de almacenamiento ST-301. Una parte de esta solución se bombea al tanque de enfriamiento rápido SV-301 a través de un refrigerador E-301. Otra porción de la solución de lixiviación se bombea a la sección de precipitación BNC (Sección 500) por los filtros de lotes FI-301A&B para posterior procesamiento. El filtro se usa para eliminar cualesquier sólidos de la solución de lixiviación

25 La corriente de desbordamiento espesada de TH-301A es bombeada por P-302 al primer reactor R-301E de la lixiviación de la segunda etapa. Desde R-301E la pulpa fluye a los reactores R-301F y R-301G y finalmente al espesador TH-301B por gravedad. La solución clara de TH-301B se recoge en el tanque de almacenamiento ST-302 y es bombeada al tanque de enfriamiento rápido, y otra parte es enviada por la bomba P-307 a R-301E para reciclado. La corriente inferior de TH-301B es bombeada a la sección CCD (Sección 400). Las válvulas de purga están conectadas a un sistema de lavado de venturi.

30 Decantación en contracorriente (Sección 400, Etapa 4)

35 En esta sección se realiza la separación de la solución fértil de la lixiviación del residuo de lixiviación y el lavado de la pulpa con solución de amoníaco-carbonato amónico usando una serie de espesadores TH-40A, B, C, D y E como se muestra en la Fig. 5. El lavado del residuo de lixiviación se hace en contracorriente. La pulpa de la corriente inferior se bombea de un espesador a otro con las bombas P-402 a P-405. La bomba P-406 se usa para que la pulpa lavada de TH-405 pase a la balsa de colas. En la Figura 5 se muestra el flujo de la pulpa y el flujo de la corriente de desbordamiento clara de un espesador a otro.

Precipitación de sal de níquel y recuperación de amoníaco (Sección 500, Etapa 5)

40 En la Fig. 5 se muestra el diagrama de flujo de esta sección. La solución de lixiviación que contiene níquel disuelto del tanque ST-304 de almacenamiento de la solución de lixiviación es bombeada por P-305 a la cabecera de la columna de lavado T-501. Se admite vapor de agua a la presión deseada del fondo de la columna para eliminar amoníaco y dióxido de carbono de la solución fértil de lixiviación. La solución descendente se empobrece gradualmente en amoníaco hasta la precipitación de carbonato básico de níquel (BNC). El cobalto disuelto también coprecipita en esta etapa.

45 La sal de níquel y cobalto mezclados precipita en la columna, se descarga del fondo a más de 100°C como pulpa con un contenido de sólidos de aprox. 1% y se recoge en ST-501, el tanque de BNC, y se enfría con agua de circulación antes de bombearla al filtro de lotes FI-501A/B. Se recupera la torta del filtro, se pesa y se analiza en cuanto a los metales níquel y cobalto. El filtrado se recoge en el tanque de almacenamiento ST-505 y se bombea al espesador TH-401E para lavar las colas finales que vienen del espesador TH-401D de la Sección 400.

50 Los vapores de la torre T-501 se condensan en el intercambiador de calor E-501. Los gases se enfrían con el agua de refrigeración que circula en él. El líquido condensado que contiene amoníaco se recoge en el tanque de condensación ST-502. Los vapores condensados de E-501 se envían a una torre de absorción T-502 para la



recuperación de amoniaco residual. Los gases se lavan con agua nueva desde la cabecera de la Torre T-502 o por recirculación de solución de amoniaco de ST-503. Los vapores exentos de amoniaco se descargan a la atmósfera. La solución de amoniaco de ST-502 se enfría en un intercambiador de calor E-502 de doble tubería enfriado con agua y se bombea a los tanques SV-401/SV-502 de preparación de amoniaco-carbonato amónico.

5 Para el arranque y la compensación de las pérdidas de amoniaco, el licor de amoniaco del tanque de almacenamiento diario ST-504 se carga a los tanques SV-401/SV-502 de preparación de la solución usando las bombas P-507 y P-508. El carbonato amónico para ajuste se añade manualmente a SV-401/SV-502. Mientras que se preparan estas soluciones, se utilizan el amoniaco-carbonato amónico recuperado del tanque de almacenamiento ST-502 y la solución agotada de amoniaco del tanque de almacenamiento ST-503.

## 10 **Arranque**

El procedimiento de la presente invención está dirigido hacia un procedimiento continuo en el que el mineral pobre de cromita se procesa continuamente en la planta piloto para producir sal de níquel y cobalto. Con el fin de alcanzar un estado estacionario continuo es necesario cargar varias calderas con la materia prima.

### **Sección 100**

15 Lo primero de todo, se llevaron al sitio de la planta piloto cargas de camión que contenían mineral pobre de cromita de las minas de Orissa Mining Corporation del área de Orissa y se almacenaron en una zona de almacenamiento habilitada para este fin. El mineral se trató como se describe en la Sección 100 y se almacenó en la tolva H-104. Dependiendo de la velocidad de suministro al horno de reducción, esta sección funcionaba de 8 a 12 horas al día.

### **Sección 200**

20 Después de la instalación del horno, los quemadores de las dos cámaras de combustión CC-201A y B se encendieron uno a uno. El curado de los refractarios se hizo elevando la temperatura hasta 800°C a lo largo de un período total de 110 horas. Para iniciar el funcionamiento del horno, se llenó el lecho muerto de mineral en los hogares. Se suministra mineral molido de H-105 a través de SC-101. El brazo para remover se mantuvo en movimiento a medida que el mineral, después de llenar el hogar de cabecera, bajaba para llenar los hogares más bajos. Se suministró mineral continuamente al horno. Con el fin de conseguir la atmósfera reductora deseada, se redujo el aire para la cámara de combustión a aproximadamente 60% de la totalidad de aire requerida teóricamente. Al alcanzar la temperatura deseada (70-800°C en la zona de reducción), se cargó el mineral seco con o sin adición de gasóleo ligero a la velocidad requerida, entre 200 y 500 kg/h. La atmósfera reductora se mantiene en el horno con el fin de completar las reacciones de reducción. Con el fin de evitar la entrada de aire, se mantiene el horno a presión positiva. El material reducido se descarga a los transportadores de tornillo SC-201A y SC-201B (encamisados) en los que se enfría a menos de 200°C. El material enfriado se suministra al tanque de enfriamiento SV-301. El tanque debe llenarse con solución de amoniaco-carbonato amónico de la composición requerida según se ha descrito en el procedimiento de arranque de la sección de lixiviación.

### **Secciones 300 y 400**

35 Antes de suministrar mineral reducido a la Sección 300, varios reactores y espesadores de las secciones 300 y 400 se llenaron con una solución que contenía amoniaco y carbonato amónico de la composición requerida. La solución se preparó en los tanques de preparación SV-401 y SV-502. La solución se preparó en lotes de 3 kilolitros añadiendo agua, carbonato amónico y solución de amoniaco. Desde estos tanques se cargó la solución en SV-301 y desde SV-301 se llenaron con la solución todos los reactores, espesadores y tanques de almacenamiento de las secciones 300 y 400.

### **Sección 500**

45 En la Sección 500 no se requiere cargar dispositivo alguno con cualesquier soluciones/sólidos antes de suministrar el licor de lixiviación que contiene níquel para la eliminación de amoniaco y la precipitación de carbonato básico de níquel. El vapor de agua requerido para realizar el lavado de amoniaco fue suministrado por una caldera calentada por combustión de gasóleo.

En resumen, el procedimiento comprende preparación del material y secado, reducción-tostación, lixiviación con amoniaco-carbonato amónico en presencia de aire u oxígeno a elevada presión, recuperación del níquel como sal de níquel después de eliminar amoniaco y carbonato amónico, obtención de un residuo que es adecuado para lavaderos de carbón o la producción de hierro.

50 Los ejemplos siguientes se presentan a modo de ilustración y por tanto no debe interpretarse que limitan el alcance

de la invención.

**Ejemplos**

5 En la sección de secado y molienda de mineral se usó el mineral pobre de cromita que tenía aproximadamente de 0,5 a 0,9% de níquel (base en seco) y un contenido de humedad entre 15 y 40%. Las diversas muestras recogidas del producto de esta sección tenían las composiciones dadas en la Tabla 1. Estos materiales alimentaron el horno.

Tabla 1. Análisis de diferentes muestras de la sobrecarga de mineral de cromita

Si nº	LOI* 800°C	Ni %	Co %	Fe %	Insolb en ácido	CaO %	MgO %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Mn %	Cu %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
1	9,6	0,8	0,034	49,0	15,4	0,11	0,16	2,65	0,30	<0,005	7,5
2	10,7	0,9	0,035	53,0	11,5	0,07	0,14	2,72	0,31	<0,005	7,7
3	11,2	0,8	0,035	51,7	15,0	0,09	0,17	2,58	0,31	<0,005	7,3
4	11,0	0,7	0,038	51,5	17,2	0,12	0,15	2,50	0,31	<0,005	8,2
5	10,3	0,6	0,044	43,0	20,2	0,09	0,17	2,42	0,31	<0,005	8,8
6	10,5	0,7	0,042	51,0	17,0	0,09	0,17	2,67	0,32	<0,005	7,5
7	10,8	0,8	0,037	52,0	12,6	0,10	0,17	2,69	0,30	<0,005	6,9
8	11,0	0,8	0,043	49,3	11,4	0,10	0,19	2,36	0,31	<0,005	7,2

El material se trituró, se secó y se molió obteniéndose una fracción del 85% de aprox. malla 200 B.S.S. (75 µm).

10 El contenido medio de humedad después del secado era de aprox. 1-2%.

El mineral seco se mezcló con 0,5% de gasóleo. Las condiciones específicas y los resultados se dan seguidamente.

15 La variación de parámetros en el horno multihogar se estudió suministrando el mineral pobre de cromita secado continuamente al MHF y realizando la .lixiviación de muestras recogidas del punto de muestreo situado a la entrada del tanque de enfriamiento. Estas muestras se lixiviaron en las condiciones establecidas en el laboratorio para obtener la máxima eficiencia en la lixiviación.

Ejemplo 1

- Velocidad de suministro al horno multihogar 300 kgh
- Combustible en el suministro 5%
- Tiempo de duración del experimento 48 horas
- 20 Tiempo de retención en el horno 90 minutos
- Temperatura del gas en la zona de reducción 600-700°C
- Temperatura en la cámara aprox. 1250-1350°C
- Suministro de combustible a la cámara 26-30 litros/hora
- Extracción global efectiva en reducción-lixiviación aprox. 60%

25 Ejemplo 2

- Velocidad de suministro al horno multihogar 300 kg/h

## ES 2 374 785 T3

	Combustible en el suministro	5%
	Tiempo de duración del experimento	2 horas
	Tiempo de retención en el horno	90 minutos
	Temperatura del gas en la zona de reducción	700-800°C
5	Temperatura en la cámara	aprox. 1350-1450°C
	Suministro de combustible a la cámara	26-30 litros/hora
	Extracción global efectiva en reducción-lixiviación	78%
	<u>Ejemplo 3</u>	
	Velocidad de suministro al horno multihogar	300 kg/h
10	Combustible en el suministro	2,5%
	Tiempo de duración del experimento	216 h
	Tiempo de retención en el horno	90 minutos
	Temperatura del gas en la zona de reducción	700-800°C
	Temperatura en la cámara	aprox. 1q350-1450°C
15	Suministro de combustible a la cámara	29-30 litros/hora
	Extracción global efectiva en reducción-lixiviación	77,5%
	<u>Ejemplo 4</u>	
	Velocidad de suministro al horno multihogar	300 kg/h
	Combustible en el suministro	nada
20	Tiempo de duración del experimento	28 horas
	Tiempo de retención en el horno	90 minutos
	Temperatura del gas en la zona de reducción	700-800°C
	Temperatura en la cámara	aprox. 1350-1450°C
	Suministro de combustible a la cámara	29-30 litros/hora
25	Extracción global efectiva en reducción-lixiviación	75%

### **Ejemplos de resultados de reducción-lixiviación continua**

#### **Ejemplo 5** (Lixiviación usando aire comprimido sin mantener elevada presión)

Condiciones de reducción:

	Velocidad de suministro	300 kg/hora
30	Tiempo de retención en el horno	90 minutos
	Temperatura del gas en la zona de reducción	700-800°C
	Combustible en el suministro	2,5%
	Temperatura en la cámara	aprox. 1350-1450°C
	Suministro de combustible en la cámara de combustión	29-30 litros/hora

## ES 2 374 785 T3

Condiciones de lixiviación:

	Tiempo de funcionamiento en continuo	72 horas
	Concentración de amoniaco (total)	30-40 g/l
	CO <sub>2</sub>	15-20 g/l
5	Tiempo de retención	4,5 horas
	Caudal en los reactores de lixiviación	1,6 kl/hora
	Aire comprimido:	
	Reactor 1	15 kg/hora
	Reactor 2	aprox 15 kg/hora
10	Reactor 3	aprox. 15 kg/hora
	Reactor 4	aprox. 15 kg/hora
	Extracción global efectiva en reducción-lixiviación	aprox. 40%

**Ejemplo 6** (Lixiviación usando aire comprimido manteniendo 0,02 MPa en los dos primeros reactores)

Condiciones de reducción:

15	Velocidad de suministro	300 kg/hora
	Tiempo de retención en el horno	90 minutos
	Temperatura del gas en la zona de reducción	700-800°C
	Combustible en el suministro	2,5%
	Temperatura en la cámara	aprox. 1350-1450°C
20	Suministro de combustible en la cámara de combustión	29-30 litros/hora

Condiciones de lixiviación:

	Tiempo de funcionamiento en continuo	48 horas
	Concentración de amoniaco (total)	85 a 100 g/l
	CO <sub>2</sub>	55-50 g/l
25	Tiempo de retención	4 horas
	Caudal en los reactores de lixiviación	1,6 kl/hora
	Aire comprimido:	
	Reactor 1	20 kg/hora
	Reactor 2	20 kg/hora
30	Reactor 3	20 kg/hora
	Reactor 4	20 kg/hora
	Extracción global efectiva en reducción-lixiviación	aprox. 77%

**Ejemplo 7:** (Lixiviación con aire comprimido manteniendo 0,02 MPa en los dos primeros reactores)

Condiciones de reducción:

## ES 2 374 785 T3

	Velocidad de suministro	450 kg/hora
	Tiempo de retención en el horno	90 minutos
	Temperatura del gas en la zona de reducción	700-800°C
	Combustible en el suministro	2,5%
5	Temperatura en la cámara	aprox. 1350-1450°C
	Suministro de combustible en la cámara de combustión	29-30 litros/hora
	Condiciones de lixiviación:	
	Tiempo de funcionamiento en continuo	288 horas
	Concentración de amoniaco (total)	60-75 g/l
10	CO <sub>2</sub>	45-50 g/l
	Tiempo de retención	aprox 4,5 horas
	Caudal en los reactores de lixiviación	aprox 2,5 kl/hora
	Aire comprimido:	
	Reactor 1	aprox 22 kg/hora
15	Reactor 2	aprox 22 kg/hora
	Reactor 3	aprox 20 kg/hora
	Reactor 4	aprox 20 kg/hora
	Reactor 5	aprox 10 kg/hora
	Reactor 6	aprox 10 kg/hora
20	Reactor 7	aprox 10 kg/hora
	Extracción global efectiva en reducción-lixiviación	aprox. 78%
	<b>Ejemplo 8</b> (Lixiviación usando oxígeno gas)	
	Condiciones de reducción:	
	Velocidad de suministro	300 kg/hora
25	Tiempo de retención en el horno	90 minutos
	Temperatura del gas en la zona de reducción	700-800°C
	Combustible en el suministro	2,5%
	Temperatura en la cámara	aprox. 1350-1450°C
	Suministro de combustible en la cámara de combustión	29-30 litros/hora
30	Condiciones de lixiviación:	
	Tiempo de funcionamiento en continuo	72 horas
	Concentración de amoniaco (total)	85-90 g/l
	CO <sub>2</sub>	35-40 g/l
	Tiempo de retención	una hora

## ES 2 374 785 T3

Caudal en los reactores de lixiviación	aprox 1,6 kl/hora
Presión parcial de oxígeno	0,07-0,08 MPa
Extracción global efectiva en reducción-lixiviación	aprox. 76%

### **Ejemplo 9:** (Lixiviación usando oxígeno)

5	Condiciones de reducción:	
	Velocidad de suministro	500 kg/hora
	Tiempo de retención en el horno	90 minutos
	Temperatura del gas en la zona de reducción	700-800°C
	Combustible en el suministro	2,5%
10	Temperatura en la cámara	aprox. 1350-1450°C
	Suministro de combustible en la cámara de combustión	29-30 litros/hora
	Condiciones de lixiviación:	
	Tiempo de funcionamiento en continuo	72 horas
	Concentración de amoníaco (total)	85-90 g/l
15	CO <sub>2</sub>	35-40 g/l
	Tiempo de retención	una hora
	Caudal en los reactores de lixiviación	aprox 1,6 kl/hora
	Presión parcial de oxígeno	0,07-0,08 MPa
	Extracción global efectiva en reducción-lixiviación	aprox. 76%
20	<b>Ejemplo 10:</b> Arrastre y recuperación de amoníaco	
	Análisis inicial de la solución de lixiviación	Ni 5,6 g/l, NH <sub>3</sub> 80-85 g/l
	Condiciones de arrastre	
	Temperatura de la torre	100-103°C
	Presión a la entrada del vapor de agua	2,4-2,6 kg/hora
25	Eficiencia del arrastre	98%
	Eficiencia de la precipitación de Ni	99%
	Análisis del carbonato de níquel obtenido	
	Ni 49,5%, Co 0,54%, Fe 0,83%, Mn 0,9%, MgO 0,21%, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cu 0,7%.	

### **Ejemplo 11:** Tratamiento del residuo (etapa 6)

30	Se tomó para separación magnética en húmedo un residuo típico de lixiviación que contenía 0,21% de Ni, 46% de Fe y 21,2% de insoluble en ácidos. Se sometieron a separación magnética en húmedo a baja intensidad nueve toneladas de residuo para obtener un concentrado magnético y eliminar materiales que contienen ganga. El análisis del material magnético (5,6 toneladas) era 56% de hierro, 9% de insolubles en ácido, fósforo 0,016%. Este material se puede usar en una planta de beneficio de carbón como medio pesado para la separación o para fabricar hierro
35	usando una técnica de fusión.

**Las ventajas principales de la presente invención para este procedimiento son:**

1. Se puede utilizar mineral pobre de cromita, que es un material de desecho, para recuperar metales estratégicos tales como níquel y cobalto.
2. El material secado y molido se puede suministrar al horno sin mezclar combustible.
3. El tiempo de retención para completar la disolución de níquel y la precipitación de hierro se reduce a 0,5-2 horas desde las 6 horas como es el caso en las plantas existentes cuando se usa oxígeno, y a 4,5 horas cuando se usa aire comprimido manteniendo una presión elevada, de 0,02 MPa.
4. El uso de gas oxígeno durante la lixiviación elimina la necesidad de un sistema de recuperación de amoníaco y minimiza así las pérdidas de amoníaco en el funcionamiento de la planta.
5. El contenido de hierro del residuo de la lixiviación se mejora por separación magnética en húmedo, Este material mejorado, debido a su finura, se puede usar para medios de separación pesados en lavaderos de carbón. El material es también adecuado para la producción de hierro debido a su menor contenido en fósforo.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para la extracción de níquel de mineral pobre de cromita que contiene de 0,6 a 0,9% de níquel, procedimiento que comprende las etapas de:
- 5 (a) triturar, secar y moler el mineral de cromita para obtener mineral de cromita triturado o que tiene un tamaño de partícula que varía de malla B.S.S. 100 a 400 (150 a 40  $\mu\text{m}$ );
- (b) tostar el mineral de cromita triturado de la etapa (a) para efectuar la reducción;
- (c) enfriar el mineral tostado;
- 10 (d) mezclar el mineral reducido enfriado de la etapa (c) con una solución de lixiviación que contiene amoníaco y carbonato amónico para formar una pulpa, hacer pasar oxígeno o aire comprimido a través de la pulpa y envejecer la pulpa durante 45 minutos a 6 horas para efectuar la lixiviación;
- (e) oxidar la pulpa lixiviada de la etapa (d) en presencia de un exceso de amoníaco para obtener una solución de lixiviación fértil y residuo de lixiviación;
- (f) separar la solución de lixiviación fértil del residuo de lixiviación y lavar la pulpa con solución de amoníaco-carbonato amónico;
- 15 (g) eliminar amoníaco de la solución de lixiviación fértil de la etapa (f) para efectuar la precipitación de níquel y cobalto disueltos en forma de sus respectivas sales.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el mineral pobre de cromita contiene de 0,6 a 0,9% en peso de Ni, de 0,034 a 0,044% en peso de Co, de 43 a 53% en peso de Fe, de 2,42 a 2,72% en peso de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y de 6,9 a 8,8% en peso de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , siendo el resto impurezas.
- 20 3. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que, en la etapa (a), el 85% del mineral de cromita tiene un tamaño de partícula de malla B.S.S de 200 (75  $\mu\text{m}$ ).
4. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que, en la etapa (b), se tuesta mineral pobre de cromita triturado en un horno multihogar a una temperatura del gas en el intervalo de 600 a 800°C para efectuar la reducción.
- 25 5. Un procedimiento según la reivindicación 4, en el que el mineral pobre de cromita triturado se suministra al horno multihogar con o sin premezclar gasóleo.
6. Un procedimiento según la reivindicación 4, en el que el mineral pobre de cromita triturado se reduce haciendo pasar  $\text{CO}/(\text{CO}+\text{CO}_2)$  y  $\text{H}_2$  que tiene un potencial de reducción de 0,2 a 0.6 a través del horno multihogar.
7. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que, en la etapa (c), el mineral de cromita tostado se enfría a una temperatura de menos de 250°C.
- 30 8. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que, en la etapa (d), la solución de lixiviación contiene de 60 a 90 g/l de amoníaco y de 80 a 120 g/l de carbonato amónico.
9. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que, en la etapa (d), la presión del oxígeno o el aire comprimido está en el intervalo de 0,2 a 1,5  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (0,02 a 0,15 MPa).
- 35 10. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que, si en la etapa (d) se usa oxígeno, la pulpa se envejece durante 45 minutos a 2 horas.
11. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que, si en la etapa (d) se usa aire, la pulpa se envejece durante 3 horas a 6 horas.
12. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que en la etapa (f) se lava la pulpa con solución de amoníaco-carbonato amónico usando la técnica de contracorriente.
- 40 13. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que en la etapa (g) se elimina amoníaco de la solución de lixiviación fértil haciendo pasar vapor de agua a través de la misma.
14. Un procedimiento según la reivindicación 13, en el que el amoníaco eliminado de la solución de lixiviación fértil se recupera y reutiliza.



15. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que en la etapa (g) el níquel disuelto precipita como sal básica de níquel.
16. Un procedimiento según la reivindicación 15, en el que en la etapa (g) la sal básica de níquel precipita como carbonato básico de níquel.
- 5 17. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que en la etapa (g) el cobalto disuelto coprecipita junto el níquel como sal de cobalto.
18. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el residuo de lixiviación obtenido en la etapa (f) se usa para extraer una fracción magnética.
- 10 19. Un procedimiento según la reivindicación 18, en el que la fracción magnética obtenida se separa por la técnica de separación magnética en húmedo.
20. Un procedimiento según la reivindicación 18, en el que la fracción magnética así obtenida se usa para la producción de hierro bajo en fósforo.

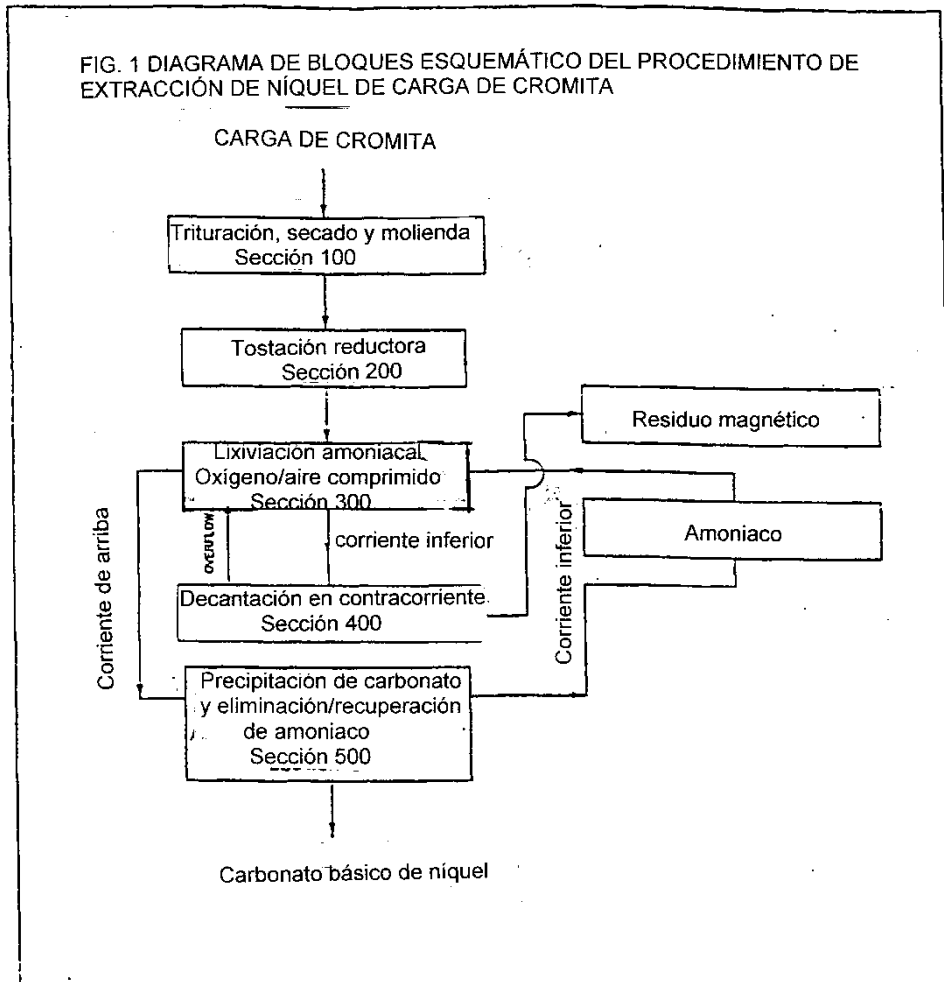
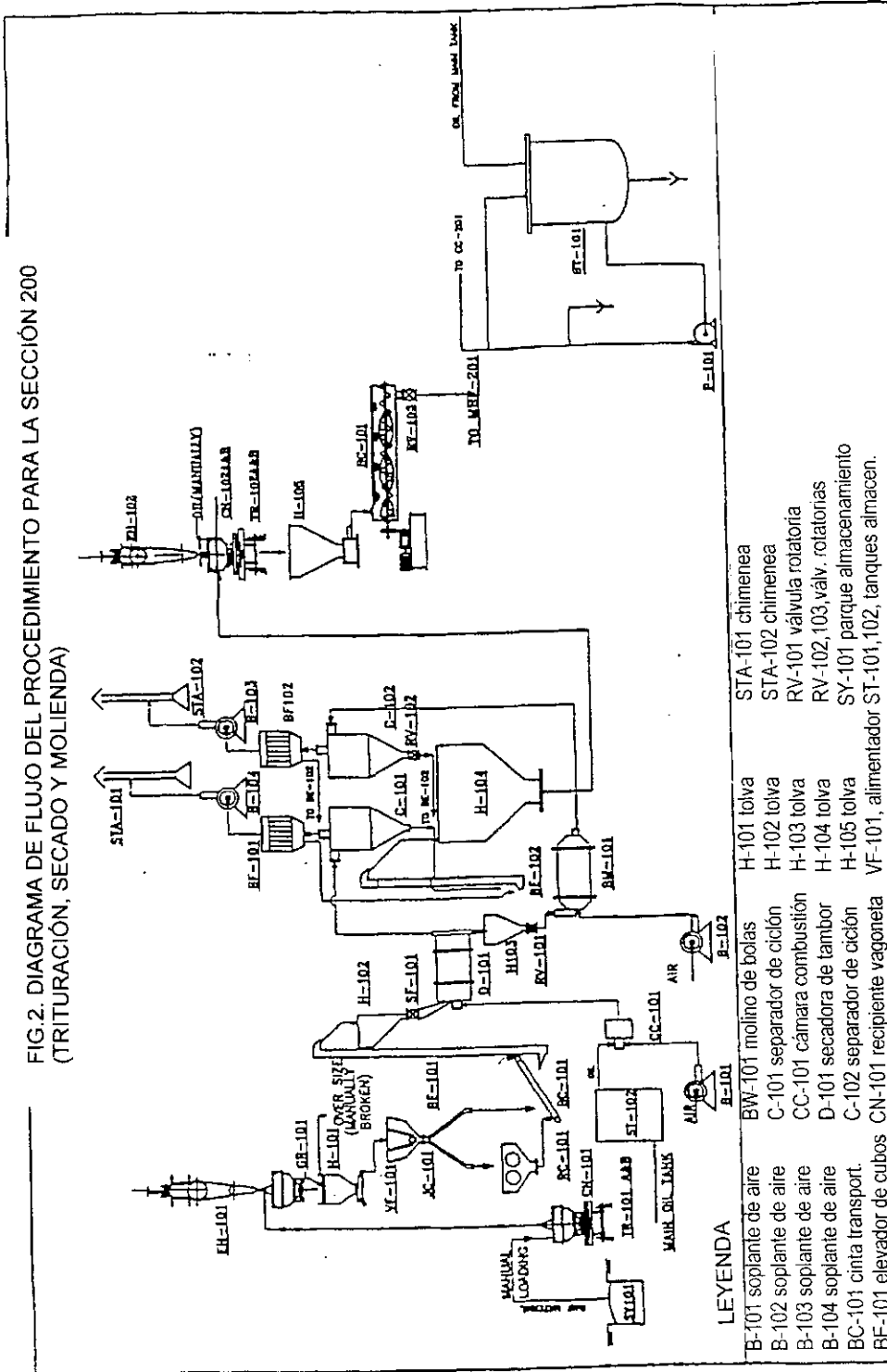


FIG. 2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA SECCIÓN 200 (TRITURACIÓN, SECADO Y MOLIENDA)



LEYENDA

- BW-101 sopiante de aire
- B-102 sopiante de aire
- B-103 sopiante de aire
- B-104 sopiante de aire
- BC-101 cinta transport.
- BE-101 elevador de cubos
- BE-102 elevador de cubos
- BF-101 filtro sacco
- BF-102 filtro sacco
- CC-101 molino de bolas
- C-101 separador de ciclón
- CC-101 cámara combustión
- D-101 secadora de tambor
- C-102 separador de ciclón
- CN-101 recipiente vagoneta vibratorio
- CN-102A recipiente vagoneta mandibula
- CN-102B recipiente vagoneta
- EH-101 montacargas eléctrico
- EH-102 montacargas eléctrico
- GR-101 conector
- TR-101 vagoneta
- TR-102A&B, vagoneta
- Transp. de tornillo
- VC-101 triturador de rodillo
- RC-101 triturador de rodillo
- SY-101 parque almacenamiento
- ST-101, 102, tanques almacén.
- STA-101 chimenea
- STA-102 chimenea
- RV-101 válvula rotatoria
- RV-102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

