



TRIANA, URIBE & MICHELSEN



MINISTERIO DE COMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
DIRECCIÓN DE NUEVAS CREACIONES

E.

S.

D.

REFERENCIA : SOLICITUD DE REGISTRO DE PATENTE PCT FASE NACIONAL TITULADA “**PROCESO HIDROMETALÚRGICO PARA LA EXTRACCIÓN SIMULTÁNEA DE METALES Y YESO DE LOS POLVOS DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO DE ACERÍAS**” EXPEDIENTE No. NC2022/0011061.

FERNANDO TRIANA SOTO mayor de edad, domiciliado en la ciudad de Bogotá D.C, República de Colombia, abogado titulado e identificado como aparece al pie de mi firma, en mi calidad de apoderado de **JULIO DOMINGO BONELLI ARENAS, JOSE ENRIQUE RAMIREZ OSTOLAZA, ADOLFO FERNANDO VERA FERNANDEZ, LUIS ALEJANDRO ARAUJO FERNANDEZ CORNEJO y JOEL OMAR QUINTANILLA MORALES**, atentamente manifiesto que estando dentro del término de ley y por orden expresa de mi representada, como resultado del examen de fondo realizado con fundamento al artículo 45 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, me permito presentar respuesta al Oficio No. 18378 de 20 de octubre de 2025, bajo los siguientes:

1. SOBRE LA SOLICITUD

- 1.1 Con referencia a las reivindicaciones, el señor examinador define que la estructura de las reivindicaciones no permite identificar con claridad el objeto a proteger y agrega que las expresiones “*recupera extrayendo simultáneamente Zinc, Plomo, Plata, Hierro y Calcio, en la forma de productos industriales; el Zinc como Sulfato de Zinc o Cátodos de Zinc, el Plomo y la Plata como un concentrado de Plomo y Plata, el Hierro como Hierro reducido elemental para retorno al horno de arco eléctrico, finalmente el calcio como Yeso*” (reiv. 1) y “*los sólidos filtrados, tienen en promedio un 8% de humedad, son sólidos insolubles, constituidos casi en su totalidad por óxidos metálicos complejos*” (Reiv. 26) hace alusión a resultados a alcanzar y sugiere corregir. En respuesta se presenta un nuevo pliego en que dichas expresiones se han eliminado de las caracterizaciones y se han dispuesto dentro del preámbulo de manera que sólo están dispuesta para definir el contexto técnico con el que la invención se relaciona.



- 1.2 Agrega que algunas expresiones no son características técnicas esenciales por lo cual se sugiere eliminarlas con el fin de dar mayor claridad a las reivindicaciones. El nuevo pliego ha sido corregido eliminando las referencia a términos relativos, imprecisos, de referencia a la aplicación y resultados a alcanzar.
- 1.3 Agrega que las unidades de medida “pies/min”, “Gauss” (Reiv. 9), “bar” (Reiv. 12) no corresponden a las establecidas por el Sistema Internacional de Unidades, por lo tanto, se solicita hacer las conversiones respectivas. El nuevo pliego ha sido corregido en ese sentido.
- 1.4 El examinador expresa que en las reivindicaciones 1, 5, 6, 8, 9 y 21 se mencionan elementos y compuestos en su fórmula química y no se reportan adecuadamente la cantidad de átomos de cada uno. También define que la descripción, el examinador informa que no divulga la invención de manera suficientemente clara y completa, dado que en las páginas 9, 12, 17, 19 y 23 se mencionan elementos y compuestos en su fórmula química, sin embargo, no se reportan adecuadamente la cantidad de átomos de cada uno, pudiendo confundirse con el coeficiente de estos y sugiere aclarar. La Solicitante está en desacuerdo con dicho requerimiento, pues las referencias a materiales tales como zinc, plomo, plata, hierro y calcio, se define como la forma de productos industriales y una persona versada en la técnica reconocerá, por ejemplo, Zn se refiere a zinc, Fe a hierro y Pb a plomo y se define como materiales y no a fórmulas químicas, ya que el objeto de la invención se refiere a *extracción simultánea de metales (tales como Zn, Fe, Pb) con yeso de los polvos de horno de arco eléctrico de acerías*. Cuando se refiere a compuestos y no a metales específicos se define claramente como, por ejemplo: dióxido de azufre SO₂ o el trióxido de azufre SO₃, por tanto, no se hace necesario ningún reemplazo o aclaración.
- 1.5 Agrega que los términos “cake”, “blend” encontrados en las páginas 19, 21 se encuentran en otro idioma diferente al español y dificultan la claridad del documento. Se sugiere reemplazarlos por las traducciones correspondientes. En respuesta, el nuevo pliego descriptivo ha corregido tal requerimiento.
- 1.6 Define que las unidades de medida “bar”, (Págs. 15, 22) “pies/min” (Págs. 13) y “Gauss” (Págs. 13), no corresponden a las establecidas por el Sistema Internacional de Unidades, por lo tanto, se solicita hacer las conversiones respectivas. En respuesta, se ha corregido tal requerimiento.
- 1.7 Define también que el capítulo descriptivo, no se evidencia un proceso hidrometalúrgico que incluya “agitación mecánica de 15 minutos” y “segundo tiempo de lavado” de la etapa de lavado de los polvos (etapa 2), y la “reacción



química de sulfatación completa” en la etapa de sulfatación extensiva (etapa 3). Por lo tanto, esa Oficina define que el capítulo descriptivo no divulga la invención de manera suficientemente clara y completa y sugiere aclarar sin aumentar la materia inicialmente expuesta. Respetuosamente, la Solicitante está en desacuerdo pues la referencia a “*agitación mecánica*” y “*segundo tiempo de lavado*” se revela en la página 8, segundo párrafo y la referencia a “*reacción química de sulfatación completa*” se revela en la página 9 segundo párrafo. Ahora bien, si se requiere es explicar cada uno, es de aclarar con son subprocesos normales dentro de la industria. La agitación mecánica es una operación unitaria que utiliza fuerza motriz (motores, aspas, hélices) para forzar el movimiento de fluidos o sólidos en un recipiente, logrando homogeneización, mezcla, transferencia de calor o suspensión de partículas. El segundo tiempo del lavado significa que repite el procedimiento del primero. La sulfatación es una reacción química que implica la unión de un grupo de trióxido de azufre (SO_3). Por tanto, no serían subprocesos con necesidad de mayor explicación.

- 1.8 Sobre los dibujos, esa Oficina define que contienen la leyenda “dust” en idioma extranjero, y siglas como “DETOX”, “L/S”, “S/L”, “EW”, “CC”, que les restan claridad a los mismos, se sugiere dejar los números de referencia para designar cada etapa del proceso y si se usan convenciones especificar a que hacen relación teniendo en cuenta que estén debidamente soportadas en la descripción y que dichas modificaciones no amplíen la divulgación inicial y sugiere corregir. Con la presente, se incluye un nuevo pliego de dibujos corregido.
- 1.9 En consecuencia, se presenta una nueva descripción con dibujos y un nuevo pliego de reivindicaciones corregido respecto a los requerimientos de forma. Particularmente, con base en los requerimientos han sido considerados y el Solicitante dirige respetuosamente al Examinador a la descripción corregida, así como las reivindicaciones enmendadas adjuntas y también a la sección siguiente relativa a los rechazos de novedad y actividad inventiva. En consecuencia, se presenta un nuevo pliego descriptivo y reivindicatorio corregido respecto a los requerimientos de forma.

2. ESTADO DE LA TECNICA

- 2.1 El señor examinador, procede a determinar el examen del estado de la técnica con base en:



Ítem	Documento	Título	Fecha de publicación
D1	US2009272229	"Chemical process for recovery of metals contained in industrial steelworks waste"	05 de noviembre de 2009
D2	US2008011123	"Alkaline electro-hydrometallurgical process for Zn extraction from electric arc furnace dust"	17 de enero de 2008

2.2 Con base en dicho arte anterior, el examinador concluye que:

Ítem	Documento	Reivindicaciones afectadas	Requisito que afecta
D1	US2009272229	1 a 26	Nivel inventivo
D2	US2008011123	1 a 26	Nivel inventivo

2.3 El Examinador ha objetado las reivindicaciones 1 a 26 frente a D1 y D2 por carecer de Nivel Inventivo. Los Solicitantes, respetuosamente no está de acuerdo con dichas objeciones de patentabilidad.

2.4 En efecto, la diferencia entre la invención definida en la reivindicación 1 y el método divulgado en D1, consiste en que en el método comprende las etapas de: lavar los polvos con agua, sulfatar los sólidos con ácido sulfúrico en relación másica 1:0,87, descomponer térmicamente los cristales aglomerados (termólisis), recuperar el zinc por electrodeposición, separar magnéticamente la hematita del yeso, lavar los gases, recuperar los lodos y purificar los líquidos. D1 tampoco revela o sugiere obtener cátodo de zinc. Esta etapa tiene por finalidad obtener Zinc, según la forma deseada como producto final, preferiblemente como sulfato de Zinc o como cátodos de Zinc. De ser necesario es posible purificar la solución con adición de polvos de Zinc, los lodos obtenidos son enviados al sistema de lodos. En la Figura 1, se evidencia como se produce sulfato de Zinc, donde el líquido que contiene fundamentalmente el Zinc es previamente evaporado al vacío, esta operación se efectúa en un evaporador al vacío convencional donde reducimos el volumen de agua en un 96%, enviando el vapor de agua al sistema de condensación, de donde el agua es reciclada a las diversas necesidades de agua del proceso. El proceso de evaporación impide que los iones metálicos y no metálicos abandonen la solución, los vapores de agua no contienen iones. A medida que se reduce el volumen de agua líquida, la concentración de Zinc se va incrementado. Para la producción de Sulfato de Zinc, que da el mayor valor agregado, se produce una solución sobre saturada de unos 1.800 gr. Zn/Lt., la cual ingresa al proceso de cristalización en etapas y en contracorriente en el reactor convencional encapsulado con un delta de temperatura de 40°C. La cristalización en etapas es una de las formas más eficientes de purificación disponibles. Los primeros



cristales son muy puros, los últimos cristales en formarse son menos puros. Lo que finalmente produce el cristizador en una mezcla de todos estos cristales que nos dan una composición típica mostrada en la Tabla 4. El Sulfato de Zinc es ampliamente usado en la industria minera como reactivo de flotación de minerales polimetálicos.

- 2.5 En conclusión, se ha probado que el nuevo pliego reivindicatorio ha sido modificado para precisar la invención frente al arte anterior y por tanto no es perjudicial respecto al requisito de NOVEDAD y NIVEL INVENTIVO de la invención, ni contradice cualquier disposición legal o reglamentaria.
- 2.6 En consecuencia, a la luz de todo lo anterior, me permito solicitar a ese despacho, esta solicitud sea estudiada de nuevo bajo el tenor de las nuevas reivindicaciones, conforme el artículo 45 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina. Sin embargo, incluso si el examinador lo considera insuficiente en conjunto con las nuevas reivindicaciones que aquí se presenta, dejamos constancia de nuestra absoluta disposición a presentar toda aquella enmienda, evidencia técnica y/o argumento adicional que el examinador pudiera llegar a considerar necesarios una vez analizada la presente respuesta, a través un nuevo Oficio para expresarse sobre cualquier tema en controversia.

3. FUNDAMENTO DE DERECHO

Fundamento esta remisión en las normas legales siguientes:

- 3.1 Artículo 45 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina.
- 3.2 En las demás normas concordantes.

4. ANEXOS

- 4.1 Un nuevo capítulo reivindicatorio.
- 4.2 Descripción corregida que incluye las figuras corregidas.
- 4.3 Pago de tasa por modificación.



5. PETICIÓN

De conformidad con lo anterior, solicito muy respetuosamente tener en cuenta la respuesta presentada, y por tanto, se continúe con el trámite de rigor. En caso de que la Oficina considere que la respuesta presentada carece de alguno de los requerimientos del oficio No. 18378 de 20 de octubre de 2025 le solicitamos nos lo indique de manera inmediata para realizar las correcciones a que haya lugar.

De la Señora Directora,

HERNANDO TRIANA SOTO
C.C. No. 79.154.036 de Usaquén
T.P.A. 45265 del C. S. De la J.



Superintendencia de
Industria y Comercio



Comercio,
Industria y Turismo

BANDEJA DE ENTRADA >

NC2026/0001000 - NC MODIFICACIÓN A LAS REIVINDICACIONES -
SOLICITADO EN PATENTE NC2022/0011061

Salir

Datos de la solicitud

Número de solicitud	NC2026/0001000
Referencia	903498674MODREIV
Fecha de radicación	29 ene. 2026
Estado	Presentada

Contacto

Apoderado	Número de identificación	Nombre(s)	Apellido(s)	Dirección (es)
	79154036	FERNANDO	TRIANA SOTO	Dirección Física : CALLE 93B NO. 12-48 PISO 4 BOGOTÁ D.C. (CO)
Solicitante	Número de identificación	Nombre(s)	Apellido(s)	Dirección (es)
		Luis Alejandro	ARAUJO FERNANDEZ CORNEJO	Dirección Física : Cerros de Camacho 244, Dpto. 401 Urbanización Cerros de Camacho, Santiago de Surco Lima, 15024 15024 (PE)
	1134638	Julio Domingo	BONELLI ARENAS	Dirección Física : Calle Los Cedros 259 Urbanización La Molina Vieja, La Molina Lima, 15024 15024 (PE)
	1134639	Joel Omar	QUINTANILLA MORALES	Dirección Física : Calle Uno 589 Urbanización El Dorado, Santiago de Surco Lima, 15054 15054 (PE)
	1134640	Jose Enrique	RAMIREZ OSTOLAZA	Dirección Física : Calle Bielovucic Cavalier 211, Dpto. 101 Urbanización Chacarrilla del

Cerrar

Contacto de la solicitud	Estanque, Santiago de Surco Lima, 15037 15037 (PE)						
	1134641	Adolfo Fernando	VERA FERNANDEZ	Dirección Física : Cerros de Camacho 620, Dpto. 1001 Urbanización Cerros de Camacho, Santiago de Surco Lima, 15024 15024 (PE)			
	Número de identificación	Nombre	Dirección	Ciudad	Código postal	País	Tipo de dirección
	79154036	FERNANDO TRIANA SOTO	CALLE 93B NO. 12-48 PISO 4	BOGOTÁ		CO	Dirección Física

1 Solicitud (es)

Número de solicitud	Tipo de solicitud	Tipo de enlace	Título/Denominación	Fecha de radicación	Estado(s)	Titular
NC2022/0011061	Patente PCT	Vinculado	PROCESO HIDROMETALÚRGICO PARA LA EXTRACCIÓN SIMULTÁNEA DE METALES Y YESO DE LOS POLVOS DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO DE ACERÍAS	04 ago. 2022	Bajo Examen de Fondo	Julio Domingo BONELLI ARENAS Jose Enrique RAMIREZ OSTOLAZA Adolfo Fernando VERA FERNANDEZ Luis Alejandro ARAUJO FERNANDEZ CORNEJO Joel Omar QUINTANILLA MORALES

Carrera 13 No. 27 – 00 Piso 3 PBX: (601) 587 00 00. Contact center: (601) 592 04 00 Línea gratuita nacional 01 8000 910165
www.sic.gov.co . e-mail: contactenos@sic.gov.co . Bogotá D.C. – Colombia.

[Política de privacidad](#) | Política editorial | Créditos | Webmaster: contactenos@sic.gov.co ::: Todos los derechos reservados 2008 – 2026



Conoce GOV.CO

Cerrar

PROCESO HIDROMETALURGICO PARA LA EXTRACCION SIMULTANEA DE METALES Y YESO DE LOS POLVOS DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO DE ACERÍAS

CAMPO TÉCNICO:

La presente invención pertenece al campo técnico de la siderurgia, específicamente se refiere a un nuevo proceso hidrometalúrgico para la recuperación de metales valiosos de desechos siderúrgicos, más específicamente consiste en un nuevo proceso hidrometalúrgico para la extracción y recuperación de metales valiosos de los polvos de horno de arco eléctrico producidos por la industria siderúrgica (acerías) a nivel mundial, tales como zinc, plomo, plata, hierro y calcio en forma de productos industriales, a partir del tratamiento de óxidos complejos.

ESTADO DE LA TÉCNICA:

Los hornos de arco eléctrico conocidos usados para la producción de acero son alimentados con chatarra industrial, esta chatarra es un complejo de compuestos metálicos desde el punto de vista químico, ya que tiene como constituyentes normalmente Fe, Zn, Pb, Mg, Mn, Cl, Ca, en forma porcentual; Cr, Cd, Ag, P, Sn, a niveles de partes por millón (ppm); y además varios elementos químicos a nivel de partes por billón (ppb).

La composición química promedio o estándar de los polvos de arco eléctrico es la siguiente:

Tabla 1. Composición de Polvo de Horno de Arco Eléctrico

Element o	%	Element o	%	Element o	ppm	Element o	ppm
Fe	18,30	C	0,97	Cr	2.378	Ag	102
Zn	19,50	Si	1,80	Sn	1.710	Bi	92
Cl	4,52	Mg	0,85	P	1.228	V	57
Pb	1,60	Al	0,43	Ba	898	As	33
Na	0,87	S	0,37	Cd	648	Zr	21
Ca	2,62	Cu	0,23	Sb	500	Co	20
K	0,85	Ti	0,10	Sr	179	Hg	5

Mn	1,92			Ni	145	Mo	5
----	------	--	--	----	-----	----	---

Los polvos de horno de arco eléctrico se generan en el interior del horno de arco eléctrico a temperaturas superiores a 1.300 °C.

Dependiendo de la ubicación geográfica, el porcentaje de composición química de los polvos de horno de arco eléctrico varía, debido a que los aceros producidos antes de convertirse en chatarra han tenido diversos usos y diversos sistemas de protección contra la corrosión (galvanizado, pinturas, plásticos) o elementos de aleación (cromo, níquel, etc.) que le permitan tener propiedades especiales, adecuados a cada necesidad local específica. Varía fundamentalmente el contenido de Zinc, que está en los rangos de 12% a 35%.

La generación de polvos de horno de arco eléctrico tiene un rango que varía de 11 kg a 17 kg por cada tonelada métrica de acero producido, esto nos indica que por cada millón de toneladas métricas de acero producido por los hornos de arco eléctrico se generan entre 11.000 y 17.000 toneladas métricas anuales de polvos de horno de arco eléctrico. Los tiempos de vida de las acerías son muy largos y, por ello, en el tiempo, este desecho pasa a ser importante en volumen, pero también riesgoso debido a que los polvos de horno de arco eléctrico son considerados peligrosos para el medio ambiente y para la salud humana y de los animales, por la presencia de algunos elementos tóxicos como Plomo, Cadmio, Arsénico, Mercurio, entre otros.

Los procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos existentes para la recuperación o extracción de metales como el Zinc, Plomo, Plata, Hierro y Calcio de los polvos de horno de arco eléctrico no pueden evitar la generación de desechos sólidos con contenidos peligrosos por lo que, no es posible, con el estado de la técnica actual, la recuperación de los metales antes mencionados sin evitar los botaderos industriales y el riesgo constante de contaminación para el medio ambiente y de peligro para la salud.

Además, en el estado de la técnica actual no existe ningún proceso pirometalúrgico, hidrometalúrgico o una combinación de ambos que recupere simultáneamente y en un solo proceso todos los contenidos valiosos de Zinc, Plomo, Plata, Hierro y Calcio de los polvos de horno de arco eléctrico, convirtiendo además los contenidos no metálicos de los polvos de horno de arco eléctrico en productos finales comerciales, sin generar

desechos sólidos ni efluentes líquidos.

Respecto a los procesos pirometalúrgicos, el proceso Waelz Kiln, es el más usado para recuperar Zinc de los polvos de horno de arco eléctrico, lleva el Zinc a la fase de gas mediante el empleo de alta temperatura (entre 1.000 °C y 1.500 °C), superando el punto de ebullición del Zinc, usando carbón metalúrgico (cake) como reductor, produciéndose Óxido de Zinc (ZnO).

Este proceso no recupera todos los metales, como el Hierro que se pierde en las escorias del proceso (Waelz Slag). En estas escorias se pierden además otros metales como Calcio y Aluminio.

Con este proceso se obtiene únicamente el producto intermedio Óxido de Zinc (Waelz Oxide) que necesita pasar aún por una refinería para obtener Zinc final.

El proceso Waelz Kiln, en general, tiene las desventajas de producir productos metalúrgicos intermedios debido a que el Óxido de Zinc producido requiere tratamiento metalúrgico posterior; no recupera el Hierro; genera escoria y se emplea mucha energía en el proceso. Además, es un proceso que no está diseñado para ser implementado en plantas siderúrgicas pequeñas que generen menos de 20.000 toneladas métricas de polvo de horno de arco eléctrico al año.

El proceso Waelz Kiln necesita un orden de magnitud de unas 100.000 toneladas métricas de polvo de horno de arco eléctrico al año, volumen que supera ampliamente la generación anual de este desecho en varias acerías ubicadas en distintos países que llegan a unas 30.000 toneladas métricas anuales.

Otros procesos pirometalúrgicos similares al Waelz Kiln, como, por ejemplo; Primus, PIZO, ESRF, Mitsumi, Electrothermal Furnace, Flame Reactor, Daido Furnace; producen, en general, el mismo producto que el Proceso Waelz Kiln, es decir, Óxido de Zinc Crudo (CZO), el cual requiere tratamientos posteriores como el proceso IS (Imperial Smelting) o los procesos convencionales de electrodeposición para la obtención de Zinc electrolítico.

En general, los procesos pirometalúrgicos existentes en el estado de la técnica son procesos que producen productos metalúrgicos intermedios, que necesitan procesos metalúrgicos posteriores para poder obtener y usar industrialmente el Zinc generado.

Además, no recuperan Hierro y generan desechos sólidos, como escorias que contienen la mayoría de los componentes no metálicos y varios metales peligrosos, además de efluentes líquidos que necesitan ser procesados en plantas de tratamiento.

Respecto de los Procesos Hidrometalúrgicos existentes en el estado de la técnica, son conocidos los de Lixiviación Ácida o Lixiviación Cáustica, que producen también Óxidos de Zinc (ZnO) como productos metalúrgicos intermedios que posteriormente necesitan procesos de electrodeposición para la obtención de Zinc. Estos procesos no recuperan hierro y usan agentes químicos (ácidos y bases) para los procesos posteriores de lixiviación selectiva de Zinc.

Existen además los procesos de lixiviación EZINEX, ZINCEX, RECUPAC, los cuales usan químicos, basados en soluciones ácidas de cloro, sulfúricas, en base de amoníaco o químicos orgánicos que son una variación de los citados previamente. Dichos procesos, al igual que los anteriores, tienen las mismas limitaciones de producir productos metalúrgicos intermedios y no permiten recuperar simultáneamente todos los metales pesados (Cd , As , Sb). Además, producen desechos sólidos y efluentes líquidos que necesitan ser procesados en plantas de tratamiento.

Los procesos hidrometalúrgicos mencionados en el párrafo anterior, respecto de la lixiviación, muestran ventajas y desventajas respecto de las lixivitaciones ácidas o alcalinas. Si bien es deseable una alta cinética de disolución, y disponibilidad de reactivos, se debe lidiar también con la baja selectividad, que tiene una alta importancia en los polvos de horno de arco eléctrico debido a la presencia de otros elementos químicos.

Debido fundamentalmente a que ambos tipos de lixiviación no pueden romper eficientemente las ferritas ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{ZnO}$) con químicos en solución, lo que inevitablemente produce pérdidas de Zinc en los insolubles de Hierro y presencia de Hierro en las soluciones de Zinc. y además compromete la calidad de las soluciones e insolubles y produce mucha complejidad con la presencia de los otros metales presentes (Cd , As , Sb).

Consecuentemente, ambos tipos de lixiviación no recuperan el Hierro y sus insolubles constituyen desechos industriales, y, además no tienen la capacidad de recuperar los

elementos valiosos en forma simultánea (Zn, Fe, Pb, Ag), y carecen también de la capacidad de eliminar de forma total los constituyentes peligrosos (As, Sb, Cd, Hg, Co, etc.).

Cabe señalar, que los procesos hidrometalúrgicos que usan como lixiviante el ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido nítrico, amoníaco, hidróxido de sodio, cloruro de amonio, cloruro de calcio, compuestos orgánicos como medios extractivos, lixiviación a alta presión y que generen desechos de proceso (insolubles o precipitados) o efluentes líquidos (aguas de desecho), no tienen relación con el nuevo proceso desarrollado.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION:

El nuevo proceso hidrometalúrgico desarrollado es capaz de tratar todo tipo de polvo de arco eléctrico y recupera extrayendo simultáneamente Zinc, Plomo, Plata, Hierro y Calcio, en la forma de productos industriales; el Zinc como Sulfato de Zinc o Cátodos de Zinc, el Plomo y la Plata como un concentrado de Plomo y Plata, el Hierro como Hierro reducido elemental para retorno al horno de arco eléctrico, finalmente el calcio como Yeso.

Además, con el nuevo proceso no se generan desechos sólidos ni efluentes líquidos, ventaja importante ya que el polvo de horno de arco eléctrico está considerado como un desecho peligroso que se incrementa cada año. De esta manera retoman a la industria los metales industriales y se elimina la necesidad del botadero de desechos continuo y creciente (landfill) mitigando el riesgo potencial al medio ambiente y la salud humana y de los animales.

La sinergia que se logra con el proceso inventado se debe a la integración de sus diferentes etapas, cuyo esquema esta detallado en las Figuras 1 y 2 y al manejo eficiente de los productos intermedios que se van generando a lo largo del proceso.

A diferencia de los procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos presentes en el estado de la técnica y empleados para el tratamiento y recuperación de materiales de los polvos de horno de arco eléctrico de acerías, el proceso inventado se ha desarrollado partiendo por considerar que el polvo de horno de arco eléctrico es una mezcla de óxidos complejos y no soluciones sólidas del tipo $(M1/M2)_xO_y$, sino más bien

aglomeraciones del tipo $M_1O.M_2xO_y$ (ferritas), los tamaños de las partículas que se encuentran en el rango de 0,17 micras a 6,76 micras, son polvos muy finos, presentan una gran área superficial, se aglomeran naturalmente de forma muy fácil. Los elementos álcali y alcalinos están en balance con los elementos halógenos. Un aspecto adicional importante es que el diámetro promedio D_{50} es de 0,62 micras, lo que genera que el polvo sea muy reactivo químicamente con una alta cinética de reacción bajo ciertas circunstancias.

Los polvos se generan en el interior del horno de arco eléctrico a temperaturas superiores a los 1.300 °C, muchos de los metales presentes como el Zn, Pb, Cd, Co, etc., están en estado gaseoso y son extraídos por los sistemas de captación de gases. Además de ello, el balance del contenido del acero fundido forma una escoria líquida con presencia de Fe, Ca, Si, etc. Durante el proceso de soplado al interior del horno, partículas finas de escoria e inclusive acero (gotas muy finas) son impulsadas a través de los sistemas de captación de gases.

Dentro de los tubos de captación y conducción, el conjunto (gases y partículas) se enfrían en el trayecto, debido al descenso de la temperatura a unos 60 °C, pasando todos los gases metálicos al estado sólido, cuya integridad forma lo que denominamos polvos de horno de arco eléctrico.

Un aspecto fundamental, debido a la génesis de su formación al interior del horno de arco eléctrico que es de condición oxidante por la adición de oxígeno gaseoso al horno, es que estos polvos se constituyen en óxidos complejos, de las formas $M_xO_y/MO.M_xO_y$, siendo M el metal (Fe, Pb, Zn. Etc.) y O es Oxígeno.

Se adiciona a este complejo los álcalis, alcalinos y halógenos presentes en la chatarra, los cuales, al enfriarse, están presentes en sus formas termodinámicas estables a condiciones normales. En general las partículas de mayor diámetro contienen más Hierro.

ETAPAS DEL PROCESO

El nuevo proceso hidrometalúrgico desarrollado para el tratamiento de los polvos de horno de arco eléctrico aparece esquematizado en la Figura 1, y comprende las siguientes

etapas que se detallan a continuación:

1. ACONDICIONAMIENTO:

Esta etapa tiene por finalidad homogeneizar e identificar la composición química de los polvos de horno de arco eléctrico, es decir, el contenido de Zinc, Hierro, Cl, Pb, Ca, Ag, Cd y Hg a efectos de tener conocimiento de los metales valiosos que presenta, de los elementos de riesgo para el control y balance metalúrgico en el proceso.

En la medida que los polvos de horno de arco eléctrico, en seco, son muy finos, tienden a formar capas grises de diferentes tamaños por lo que se hace necesario homogeneizarlos, acción que se realiza en un mezclador encapsulado que produce la mezcla homogénea que constituye el stock homogéneo de polvo de arco eléctrico, el cual se almacena en tolvas encapsuladas que impiden su escape.

El stock homogéneo de polvo de arco eléctrico ingresará al proceso después de que se haya efectuado el análisis químico del mismo.

El aspecto más importante es determinar la ley de Zinc (17,50% a 19,50%) y Hierro (17,26% a 28,26%), además de conocer con certeza los contenidos de Cl, Pb, Ca, Ag, Cd y Hg. De esta forma se tiene conocimiento con el mayor nivel de certeza posible de los metales valiosos y de los elementos de riesgo para el control y balance metalúrgico en el proceso.

2. LAVADO:

Los polvos de arco eléctrico (en adelante los polvos) contienen halógenos (Cl) y consecuentemente álcalis y alcalinos, estos elementos deben ser removidos del complejo de óxidos debido a que son perjudiciales para las etapas siguientes del proceso.

A este fin se procede a transportar el polvo homogeneizado de las tolvas encapsuladas a los tanques de lavado, estos son tanques encapsulados para evitar la posibilidad de escape de polvos y para enviar los vapores de agua a los sistemas de evaporación y condensación, cuentan con un sistema de succión que permite la operación a presión negativa, 0,97 atmósferas (98,28 kPa).

El agua proviene del sistema de alimentación de agua condensada, tiene ausencia de sales y de gases disueltos, ingresa a 80°C, con una relación másica de 4 a 1. La ausencia

de sales y gases disueltos en el agua y la temperatura de operación, confieren al agua mejores propiedades para la disolución de los complejos de Cl, Na, K, Mg, Ca, Ba, presentes en los polvos de horno de arco eléctrico.

Los tanques de lavado mantienen una suspensión constante mediante agitación mecánica durante 15 minutos en la primera parte del lavado, la suspensión busca el contacto entre todas las partículas del polvo y el agua condensada caliente. Esta fase produce un líquido cargado con los complejos solubles ya mencionados, el cual es enviado a una unidad de purificación de líquidos (DETOX) del proceso mediante el sistema de decantación líquido / pulpa. La pulpa ingresa a un segundo tiempo de lavado de 10 minutos, con agua de las mismas características del proceso, el objetivo es forzar una segunda disolución de halógenos, álcalis, alcalinos. De forma similar, el sistema de decantación envía el líquido al sistema de purificación de líquidos y los sólidos previamente filtrados pasan a la siguiente fase.

Obtenemos una reducción de Cl en más del 95%, consecuentemente reducciones muy altas de; Na, Mg, Ba. En general se obtiene una reducción del 17% en peso del contenido inicial de polvo.

Debido a la naturaleza corrosiva de los líquidos de este proceso, los sistemas de agitación de los tanques y las tuberías de conducción tienen recubrimiento anticorrosivo. El sistema de impulsión de líquidos y pulpas se efectúan mediante bombas peristálticas.

En consecuencia, los sólidos filtrados, tienen en promedio un 10% de humedad, son sólidos insolubles, constituidos casi en su totalidad por óxidos metálicos complejos.

3. SULFATACIÓN EXTENSIVA:

El sólido de la fase de lavado ingresa a la fase de sulfatación extensiva. Consiste en cambiar la naturaleza química de los óxidos por los de sulfatos simples y complejos en forma total. Es decir, pasar de una integridad de óxidos insolubles complejos a una integridad de sulfatos. Esta etapa no existe en ningún proceso presente en el estado de la técnica empleado para la recuperación de metales de los polvos horno de arco eléctrico, consiste en la adición de ácido sulfúrico a los sólidos de la fase de lavado con la finalidad de cambiar la naturaleza química de los polvos de horno de arco eléctrico de compuestos de óxidos complejos a un grupo de sulfatos de reacción simple y compleja.

Para generar esta reacción, procedemos a la mezcla en peso de una parte de polvo por 0,87 partes de ácido puro, en un reactor diseñado especialmente para esta fase. El reactor es de mezcla continua y en él se genera una pasta, la reacción es exotérmica, se lleva a cabo en un rango de 120°C a 150°C, agregamos agua a 80°C del sistema de generación de agua condensada, únicamente con la finalidad de reponer las pérdidas por evaporación de agua en la reacción y mantener la condición plástica de la pasta.

Esta fase dura 20 minutos, la pasta generada es muy oscura, homogénea y caliente, es importante la mezcla enérgica y constante, debido a que la pasta formada es muy viscosa, debe obtenerse la reacción química de sulfatación completa y el agotamiento del ácido sulfúrico. Este es un aspecto muy importante ya que el proceso consume la totalidad de ácido, no generando soluciones con ácido libre en el proceso.

Esta fase no produce líquidos en forma alguna, produce vapor de agua, en forma muy limitada y muy poca neblina ácida, estos vapores y gases van a los sistemas de recuperación de SO_3 y se reingresan al sistema de stock de ácido sulfúrico del proceso en circuito cerrado.

En esencia, en esta etapa se procede al rompimiento de las moléculas de óxidos, reemplazando el oxígeno en las moléculas por el compuesto típico SO_4 , aspecto importante del proceso y radicalmente diferente a todos los métodos existentes, debido a que el tratamiento de óxidos complejos es ineficiente en los procesos de lixiviación con reactivos químicos.

En esta etapa se cambia totalmente la naturaleza química del polvo de horno de arco eléctrico, que pasa de un compuesto de óxidos complejos a un grupo de sulfatos de reacción simple y completa ya que procedemos hasta que la reacción culmine (consumo total de reactivo). Este es un punto de inflexión del estado de la técnica, ya que de aquí en adelante la naturaleza de todo el proceso es diferente a todo lo que existe debido a que el material en el proceso es ya de otra naturaleza química, hablamos de una mezcla sulfatada de polvos de horno de arco eléctrico.

4. SECADO:

El secado de la mezcla sulfatada de polvos de horno de arco eléctrico se realiza en el

mismo reactor de sulfatación, el cual sigue operando a mezcla continua, se incrementa la temperatura del reactor a 200°C, la pasta procede a secarse, perdiendo toda el agua por evaporación, formado cristales aglomerados de color gris oscuro.

Esta etapa que dura aproximadamente 10 minutos y tiene dos objetivos importantes: primero eliminar el agua para evitar choques térmicos en la siguiente etapa y segundo, asegurar la reacción completa del nuevo complejo sulfurado.

El reactor sigue encapsulado. Teóricamente es posible la presencia de una mínima cantidad de SO₃, el reactor está en línea con los sistemas de captación de SO₃ y limpieza de gases.

5. TERMÓLISIS:

Esta etapa tiene por finalidad mantener una parte del complejo en soluble (fundamentalmente el Zinc como Sulfato de Zinc) y una parte insoluble (fundamentalmente el Hierro como Hematita).

Después de la fase de secado, se incrementa la temperatura del reactor a un rango de trabajo entre 680 °C a 720 °C, dependiendo de la concentración de Zn, Fe, Pb, en la pasta. Se mantiene la mezcla mecánica en forma constante de manera que los cristales formados en la fase de secado puedan incrementar la temperatura en forma homogénea. El tiempo de reacción es de aproximadamente 2 horas.

En esta fase, se produce la reacción de termólisis (descomposición térmica) del sulfato de hierro como reacción principal, la que produce la formación de Hematita (Fe₂O₃), con la correspondiente generación de SO₂ y O₂, según la reacción:



La reacción se lleva a cabo a presión normal. Los gases generados son enviados al sistema de limpieza de gases y captación de SO₂, que se adiciona al stock de ácido sulfúrico del proceso.

Además de la reacción de descomposición térmica del Hierro, los óxidos con menor energía de formación en función al Hierro también se descomponen, como en el caso del Pb, Ag, Si, Mn, P, Sn, Cd, Ni, Bi, etc.

El grupo de compuestos presentes en forma mayoritaria que no se descomponen son de mayor energía de formación de la Hematita como los compuestos de Zn, Ca y otros

minoritarios que mantienen su nueva naturaleza sulfatada.

Lo que se ha logrado en esta fase tiene una importancia gravitante en el proceso, la Hematita formada y todos los óxidos adicionales formados son insolubles, el Zinc en forma de sulfato por el contrario tiene una alta solubilidad, el cual es enviado a una tolva encapsulada donde se enfría hasta los 70°C.

6. LIXIVIACION ACUOSA:

Esta etapa tiene por finalidad la obtención de dos nuevos complejos, uno líquido con una gran cantidad de Zinc y otro de naturaleza insoluble fundamentalmente constituido por Hematita, Yeso y óxidos de Plomo más otros óxidos menores.

El tiempo de lixiviación es de aproximadamente 1 hora a 1 hora y 30 minutos, se lleva a cabo en tanques encapsulados con un sistema de extracción de vapor de agua de evaporación, la lixiviación se lleva a cabo a 260 RPM y 70 °C. Los tanques tienen recubrimiento anticorrosivo y las soluciones se mueven con bombas peristálticas.

La relación volumétrica sólido - líquido es de 1 a 3,6, el agua proviene del sistema de agua condensada, es un sistema de contracorriente, de forma que los sólidos van solubilizando y perdiendo progresivamente el Zinc, mientras que la solución va incrementándose progresivamente en el contenido de Zinc y en menor manera, en los contenidos de Mn y Ca.

El lixivante es agua condensada, sin agregación de ningún tipo de químico reactivo, el objetivo de esta fase es no dejar solubles en el sólido constituido fundamentalmente por Hematita, por ello realizamos la lixiviación con agregación de agua para reemplazar las pérdidas de agua por evaporación.

La fase de lixiviación acuosa es muy eficiente, produce la extracción muy eficiente de Zinc, produciendo una solución que en promedio ensaya 56 gr. de Zn por litro, con una pequeña cantidad de otros componentes, los sólidos son en su gran mayoría Hematita y otros óxidos metálicos como los de Calcio y Plomo.

Los sólidos son muy finos y es necesario un sistema de filtración por bombas de alta presión para una separación eficiente de la solución lixiviada.

Tenemos ahora dos nuevos complejos, uno líquido con una gran cantidad de Zinc y otro fundamentalmente constituido por Hematita, Yeso y óxidos de Plomo más otros óxidos menores.

Los sólidos son enviados al proceso de flotación y los líquidos al sistema de evaporación - cristalización/ electrodeposición, es fundamental mantener la temperatura del flujo líquido a 70°C, el cual es movido por impulso peristáltico.

7. RECUPERACIÓN DE ZINC:

Esta etapa tiene por finalidad obtener Zinc, según la forma deseada como producto final, preferiblemente como sulfato de Zinc o como cátodos de Zinc. De ser necesario es posible purificar la solución con adición de polvos de Zinc, los lodos obtenidos son enviados al sistema de lodos.

En una primera forma deseada, mostrada en la Figura 1, se produce sulfato de Zinc, el líquido que contiene fundamentalmente el Zinc es previamente evaporado al vacío, esta operación se efectúa en un evaporador al vacío convencional donde reducimos el volumen de agua en un 96%, enviando el vapor de agua al sistema de condensación, de donde el agua es reciclada a las diversas necesidades de agua del proceso.

El proceso de evaporación impide que los iones metálicos y no metálicos abandonen la solución, los vapores de agua no contienen iones. A medida que se reduce el volumen de agua líquida, la concentración de Zinc se va incrementado.

Para la producción de Sulfato de Zinc, que da el mayor valor agregado, se produce una solución sobre saturada de unos 1.800 gr. Zn/Lt., la cual ingresa al proceso de cristalización en etapas y en contracorriente en el reactor convencional encapsulado con un delta de temperatura de 40°C. La cristalización en etapas es una de las formas más eficientes de purificación disponibles. Los primeros cristales son muy puros, los últimos cristales en formarse son menos puros. Lo que finalmente produce el cristalizador en una mezcla de todos estos cristales que nos dan una composición típica mostrada en la Tabla 4. El Sulfato de Zinc es ampliamente usado en la industria minera como reactivo de flotación de minerales polimetálicos.

En una segunda forma deseada, para la obtención de Cátodos de Zinc mostrada en la Figura 2, se produce una solución sub - saturada con unos 60 gramos por litro de Zinc para el proceso de electrodeposición de Zinc, donde se obtiene cátodos de Zinc de buena calidad con la consistencia de polvo fino aglomerado, mediante el procedimiento convencional ampliamente conocido en la industria metalúrgica (Cátodos de Zinc por Electrodeposición a partir de soluciones sulfúricas). En este caso, los líquidos son

reciclados por evaporación al vacío y los lodos anódicos son agregados al concentrado de Plomo - Plata. Este producto retoma el metal al circuito industrial.

8. FLOTACION:

Este proceso tiene por finalidad separar la Hematita de los Óxidos de Plomo y diversos óxidos metálicos presentes en muy pequeña cantidad, por ejemplo, los de Cadmio, Níquel, Arsénico.

Los sólidos que provienen de la fase de lixiviación son insolubles a condiciones normales, con una composición mayoritaria de Hematita y con presencia minoritaria de Óxidos de Plomo, Sulfato de Calcio (Yeso) y una presencia importante de Plata.

Usando las propiedades de flotación de los óxidos de plomo y la plata en presencia de Hematita (ausencia de sulfuros), las operaciones de flotación por espuma producen una excelente separación, produciendo un concentrado mineral de Plomo - Plata de calidad comercial cuya composición típica se reporta en la Tabla 2. Este proceso de flotación mineral de óxidos concentra también muchos de los metales pesados. Pero además limpia la Hematita de estos contenidos.

Debido a la naturaleza ultrafina de las partículas de todos los componentes, es una operación casi artesanal que demora aproximadamente dos horas, tiempo necesario para favorecer el arrastre de los óxidos de plomo y los óxidos de los metales pesados. Los reactivos de flotación usados son los de la familia del Sulfuro de Sodio (Na_2S), en presencia de Carbonato de Sodio y Silicato de Sodio, con uso de Xantato y Aceite de Pino. Adicionalmente la Hematita necesita almidón como depresor. La composición del concentrado típico obtenido se muestra en la Tabla 2 a continuación.

Tabla 2. Composición Típica de los Productos

$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Fe°	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CC Pb Ag
Sulfato de Zinc Repta Hidratado	Hierro Reducido	Sulfato de Calcio Bi Hidratado	Concentrado de Plomo – Plata
Zn 22,61 %	Fe 93,417 %	CaSO_4 52,26 %	Pb 52,06 %
S 11,01 %	C 3,921 %	SiO_2 18,31 %	Ag 81,33 Oz/TM
ZnSO_4 55,47 %	Si 1,266 %	Fe_2O_3 7,28 %	Zn 4,88 %
Cl 0,71 %	Mn 0,669 %	ZnO 2,21 %	Cu 0,59 %
Fe 71 ppm	P 0,049 %	PbO 1,05 %	S 3,52 %

Hg Tr. ppm	S 0,056 %	H Me 0,17 %	insolubles 5,11 %
Pb Tr. ppm			SiO ₂ 1,95 %
H Me 2 ppm			Ca 0,68 %
			Mn 0,51 %
			Bi 0,12 %
			Sb 0,26 %
			As 0,08 %
			Mg 0,17 %
			Al 0,41 %
			P 0,19 %
			Cd 117 ppm
			Ba 437 ppm
			Sn 370 ppm

9. SEPARACION MAGNÉTICA:

Esta etapa tiene por finalidad separar el yeso de la Hematita.

La Hematita aún contiene Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), debido a la necesidad de usar la Hematita reducida (FeO) como material de alimento de horno de arco eléctrico es necesario remover el Yeso, para ello usamos la separación magnética, aprovechando el amplio delta de susceptibilidad magnética que existe entre la Hematita (35×10^3 SI) y el Yeso (-0.11×10^3 SI).

Sin embargo, la separación magnética es también una operación unitaria que necesita mucha supervisión, para evitar el arrastre de finos de Yeso en la Hematita, y se hace a velocidades bajas, entre 0,7 pies/min (12,8 m/s) y 0,8 pies/min (14,63 m/s) del separador magnético y a una densidad de flujo magnético entre 19 000 Gauss (19 T) y 21 000 Gauss (21 T).

Esta operación usa etapas de separación magnética de menor a mayor densidad de flujo, obteniéndose pre-concentrados de Hematita que posteriormente son mezclados para ser enviados al proceso de reducción de Hematita en su forma convencional para producir Hierro reducido, el cual es aglomerado por su naturaleza fina para finalmente ser retornado al horno de arco eléctrico (EAF).

10. SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE SO_3/SO_2 :

El proceso cuenta con un sistema convencional catalítico para recuperación de SO_3/SO_2 , que capta los gases en soluciones diluidas de H_2SO_4 (al 70%) en presencia de catalizadores, la solución de captación se agrega al stock de Ácido Sulfúrico del Proceso. El sistema comercial cuenta con disipadores de calor mediante aire forzado. y se encuentra encapsulado.

11. SISTEMA DE LAVADO DE GASES:

Los gases del sistema son fundamentalmente aire, O_2 y CO_2 ; sin embargo, por la naturaleza ultrafina de los polvos, una porción pequeña de ellos es arrastrada por las corrientes de dichos gases por ello es necesario contar con un sistema de lavado de gases que retenga las partículas.

La eficiencia ambiental del proceso respecto de la fase gaseosa depende de la eficiencia de este sistema, por ello es un sistema de limpieza a contracorriente, forzando a que el gas y las partículas pasen por sprays y neblina de agua a contracorriente ($1,2 \text{ m}^3$ por m^3 de gas), en forma repetitiva con varias columnas de lavado y serpentines. El gas antes de abandonar el proceso pasa por filtros ultrafinos para asegurar que no haya pérdida de sólidos.

Los sólidos son captados como lodos que son en esencia polvos de horno de arco eléctrico o calcina del proceso de termólisis, estos lodos son enviados al sistema de recolección de lodos, el líquido del proceso de lavado de gases es enviado a la unidad de purificación de líquidos mediante impulsión por bombas peristálticas.

12. RECUPERACIÓN DE LODOS (COLECTOR):

Esta etapa evita la pérdida de polvos por su naturaleza ultrafina, consiste en manejar lodos conformados por estas partículas. Todos los reactores y sistemas de flujo están encapsulados y captan partículas fugitivas las cuales, debido a que los diversos sistemas están en circuito cerrado producen lodos. Enviando estos a esta etapa del proceso.

El vapor de agua también arrastra una porción mínima de partículas, las cuales son captadas en el sistema de evaporación al vacío y enviadas al colector de lodos.

Estos lodos son filtrados por dos bombas gemelas, la primera con una membrana de 5 micras y la segunda con una membrana de 2,5 micras, dichas membranas son hechas de resina fenólica. Esta operación se efectúa a 3,5 bar (350 kPa) de presión.

Los sólidos obtenidos son agregados al Concentrado de Plomo - Plata, de esta forma de evita esta importante generación de desechos. Esta operación no afecta la calidad del concentrado.

El líquido resultante tiene contenido iónico, debido a ello es enviado al Sistema de Purificación de Líquidos.

13. PURIFICACIÓN DE LÍQUIDOS - DETOX:

Esta etapa, consiste en una unidad que recibe los flujos líquidos que contienen aniones, cationes, suspensión de partículas sólidas ultrafinas de los procesos de lavado de polvo, lavado de gases, colector de lodos y los flujos líquidos de la fase de flotación (concentrado y relaves) y eventualmente del proceso de limpieza y mantenimiento de cualquier reactor.

Consiste en el proceso de descontaminación de aguas, consta de un sistema de separación química de iones, filtración de membrana a alta presión, evaporación al vacío, precipitación química, retornando el agua limpia al proceso de agua condensada industrial, cristalizando los contaminantes. Está equipada con tecnología disponible en el mercado.

Los sólidos son integrados (precipitados, lodos y cristales), homogeneizados y agregados al Concentrado Plomo - Plata para su respectiva comercialización.

OTROS ASPECTOS DEL PROCESO:

Una particularidad de nuestro proceso es que está pensada en el operador siderúrgico, ya que el nuevo proceso puede ser instalado en la misma planta siderúrgica, muy cerca el horno de arco eléctrico inclusive puede compartir sinergias con la planta de acero ya que al ser encapsulado no es susceptible de sufrir alteraciones por la atmósfera de las operaciones, así como las operaciones del proceso no alteran las operaciones de la planta de acero.

Debido a la forma de cambio de la naturaleza química de los óxidos complejos (polvo de horno de arco eléctrico) a un complejo sulfurado, se eliminan los peligros asociados a la generación de sales fugitivas de Cadmio y Cromo Hexavalente, además que resuelve el problema hidro metalúrgico de la baja recuperación de Zinc y de Hierro. Haciendo la hidro metalurgia más fácil y ambiental ya que usamos como lixiviante agua condensada la cual regeneramos en forma continua mediante los sistemas de evaporación al vacío sin la generación de efluentes. El proceso consume un mínimo de agua (sólo se pierde el agua de hidratación del sulfato de Zinc, del agua de hidratación del Sulfato de Calcio, La Humedad del Concentrado de Plomo - Plata y la evaporación) que es la que se adiciona en reemplazo.

No se manejan metales en forma de gas, ni elementos o soluciones fundidas, el proceso usa en sus reacciones; sólidos, líquidos e iones que se separan en forma selectiva. El proceso define la forma de extracción de los metales peligrosos (Pb, Cd, As, Co, etc.), convertirlos en un producto metalúrgico final (Concentrado de Pb-Ag), este aspecto es un aporte importante ya que envía de retorno los metales pesados a las fundiciones de tratamiento de Plomo, que son los circuitos y procesos más adecuados para el tratamiento y recuperación de metales pesados o tóxicos.

Los lodos generados en las diversas etapas (limpieza de gases, lodos de filtración de agua de retorno, polvos de limpieza de aire) son mezclados con el Concentrado de Plomo, adicionándolos a este producto. El proceso no genera desechos sólidos. Además, que en caso necesario este concentrado puede ser mezclado con concentrados de Plomo de mejor grado para poder cumplir con los grados comerciales requeridos por la industria.

El proceso emite únicamente CO₂, producto de la necesidad de producir calor para el reactor de termólisis, debido al uso de GNV/GLP para calentar el reactor, los gases de combustión se usan además para los sistemas de purificación y mantenimiento de las temperaturas de reacción de las diversas soluciones del proceso y de los sistemas de evaporación a temperatura sobre las condiciones normales y presión negativa. Cabe mencionar que los sistemas eléctricos como motores, válvulas, actuadores, sensores, iluminación y sistemas de contingencias funcionan en base a energía eléctrica (440V, 60Hz) suministrada por el sistema público, además se cuenta con un grupo electrógeno que en caso de contingencia provee la energía para el sistema de emergencia (parada

segura de operaciones) e iluminación.

Un aspecto de especial atención es que todos los reactores y sistemas de conducción de soluciones, están revestidas de películas de resinas y polímeros de alta resistencia a la corrosión y con rangos de temperaturas de trabajo de 100°C en promedio.

Los sistemas de conducción de gases son desarrollados con los sistemas convencionales para flujos de gases calientes corrosivos en la industria metalúrgica (fundiciones de sulfuros y siderúrgicas).

El proceso, en promedio, como se muestra en la Tabla 3, tiene el siguiente comportamiento de masa, respecto de los productos que son obtenidos a partir de 1 TM de polvo de horno de arco eléctrico.

Tabla 3. Cuadro de Masa Unitario

Polvo de Horno	UN	ZnSO₄.7H₂O	Fe	CaSO₄.2H₂O	CC Pb-Ag
1000	Kg.	838,01	182,84	209,19	26,79
40	TM	33,52	7,31	8,37	1,07

Las diferencias positivas de peso se deben a la agregación de azufre y al agua de hidratación; 7H₂O en el caso del sulfato de Zinc y 2H₂O en el caso del sulfato de calcio.

Respecto de las recuperaciones metalúrgicas de los elementos valiosos del proceso, que son esencialmente Zinc, Hierro, Plomo / Plata, estas se aprecian en la Tabla 4.

Tabla 4. Recuperación Metalúrgica de Metales Económicos

Metal	ZnSO₄.7H₂O	Fe°	CC Pb-Ag	CaSO₄.2H₂O	Total
% Zinc	97,17		0,67	1,90	99,74
% Hierro		93,34	5,83	0,79	99,95
% Plomo			87,15	12,74	99,90
% Plata			66,43	33,50	99,93

Los contenidos pagables del Zinc son en promedio del 97%, contenidos en el Sulfato de Zinc, ya que los contenidos presentes en el Concentrado de Plomo - Plata y en el Yeso no

son pagables.

El Concentrado de Plomo y Plata, es en general, un concentrado considerado sucio o al límite, debido a que recibe los lodos de los diversos procesos de purificación o limpieza. La sección pagable es del 87% para el Plomo y el 66% para la Plata, respecto de los contenidos en la cabeza, analizados en la Tabla 1 y la calidad reportada en la Tabla 2.

Respecto del Hierro reducido como etapa final de la reducción de la Hematita de alta pureza, el proceso recupera el 93% del total, este producto retorna al horno de arco eléctrico. La diferencia del Hierro está en primer lugar en el Yeso debido fundamentalmente a la fineza de las partículas que tienen un efecto de arrastre de lamas. En segundo lugar, en el Concentrado de Plomo - Plata.

El Yeso, formado en el proceso, tiene buenas propiedades para sostenimiento en la industria minera, el cual es el destino final del producto debido a que contiene una porción de metales y el balance de la Plata.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

La Figura 1: es un diagrama de flujo en bloques que ilustra con detalle una modalidad de realización del proceso inventado, debido a que la evaporación nos da la flexibilidad de producir una solución sobresaturada de Zinc, a partir de la cual se produce Sulfato de Zinc en la Cristalización.

La Figura 2: es un diagrama de flujo que muestra una segunda modalidad de realización accesoria del proceso inventado, ya que la evaporación nos da la flexibilidad de obtener una solución sulfúrica subsaturada del orden de 60 gramos por litro que nos permite emplear el proceso regular de electrodeposición (EW) a partir de cual se obtienen cátodos de Zinc.

EJEMPLOS REALIZACIÓN DE LA INVENCION

Las empresas siderúrgicas que emplean el horno de arco eléctrico para la producción de aceros generalmente tienen una producción que está en promedio en un millón de toneladas de acero (1 000 000 TM) por año.

Como se señaló previamente, por cada tonelada de acero producida. Se genera entre 11 kg a 17 kg. de polvos de horno de arco eléctrico, con un contenido de Zinc de entre el

12% al 35%.

De allí que, en promedio por cada millón de TM de acero producido anualmente, se producen unas 12,000 toneladas anuales de polvo de horno de arco eléctrico.

A la vista de las figuras adjuntas, y de acuerdo con la numeración de las etapas del proceso adoptada, se puede apreciar en ellas dos ejemplos de realización no limitativo de la presente invención, entendiendo que la descripción debe ser considerada como un ejemplo de los principios de la invención y no pretende limitar el aspecto amplio del alcance de protección del Proceso Hidrometalúrgico para la Extracción Simultánea de Metales y Yeso de los Polvos de Horno de Arco Eléctrico de Acerías.

A continuación, se describirá el detalle para una operación típica de 40 TMD de polvos de horno de arco eléctrico en base a los procesos descritos y las figuras 1 y 2, el detalle operativo es el siguiente:

1. Se acondicionan los polvos sin adición de ningún tipo de sustancia o líquido y se determinan las leyes para el: Zn, Fe, Pb, Ag, Ca y Cl como sigue:

Zn	19,50 %	Contenido promedio de mezcla de polvos frescos y de botadero.
Hierro	18,30 %	Contenido promedio de mezcla de polvos frescos y de botadero.
Plomo	1,60 %	Contenido promedio de mezcla de polvos frescos y de botadero.
Plata	3,28 Oz/TM	Contenido promedio de mezcla de polvos frescos y de botadero.
Calcio	2,62%	Contenido promedio de mezcla de polvos frescos y de botadero.
Otros metales	0,80 %	Sumatoria de los contenidos en ppm Cr, Sn, P, Ba, Cd, Sb, Sr, Ni, etc.

(ppm)

Cloro	4,50%	Contenido promedio de mezcla de polvos frescos y de botadero.
-------	-------	---

2. Se lavan en un reactor 40 TM de mezcla de polvos con 30,23 m³ de agua condensada del proceso de evaporación a 80°C, proceso que se lleva a cabo a 0,97 atmósferas. Se elimina 11,70% del peso de los polvos por remoción de Cl, Na, K, Mg, Ca, Ba, etc., y la solución se envía al DETOX para la recuperación de las sales;
3. La parte solida de la etapa de lavado ingresa a la fase de sulfatación extensiva, y se tratan 35,32 TM de mezcla de polvos, subiendo su ley a 23,45 % por la reducción de peso. Se adicionan 22,96 TM de H₂SO₄ hasta que la reacción culmine y se consuma el reactivo totalmente (estequiometría completa), produciéndose una reacción exotérmica a 130 °C y se agrega 11,48 m³ de agua condensada del proceso de evaporación a 80°C para reponer el agua que se evapora y evitar choques térmicos;
4. En el mismo reactor se incrementa la temperatura a 200°C produciéndose el secado de 47,95 TM de pasta de polvo, peso que se ve incrementado debido a la adición de S (SO₄), cambiando la naturaleza química del polvo;
5. Después de la fase o etapa de secado, se obtiene 48,55 TM de polvo debido al cambio de naturaleza del hierro de Fe₂O₃, a FeSO₄ y se somete a termólisis, incrementándose la temperatura del reactor a 700°C, dependiendo de la concentración de Zn, Fe, Pb, en la pasta. Se mantiene la mezcla mecánica en forma constante de manera que los cristales formados en la fase de secado puedan incrementar la temperatura en forma homogénea, siendo el tiempo de reacción entre 1,8 horas a 2,10 horas;
6. Los sólidos (polvo) obtenidos de la etapa de termólisis son sometidos a

lixiviación acuosa en tanques encapsulados con 131 m³ de agua condensada provenientes del proceso de evaporación a 80°C, en una relación volumétrica solido - liquido de 1 a 3,6 sin agregar ningún tipo de químico reactivo, produciéndose una extracción eficiente del Zinc, obteniéndose una solución que en promedio contienen 56 gr. de Zinc por litro y una cantidad de sólidos, en su mayoría Hematita y óxidos metálicos de Calcio y Plomo. Se tiene ahora dos nuevos complejos, uno liquido con una gran cantidad de Zn y otro constituido por Hematita, Yeso, y fundamentalmente óxidos de Plomo. Los sólidos son muy finos por lo que son filtrados por medio de bombas de alta presión, obteniéndose 28,65 TM de carbón sólido, los que son enviados al proceso de flotación y los líquidos al proceso de Recuperación de Zinc (evaporación cristalización/electrodeposición). La lixiviación se realiza por un tiempo de 1 hora a 1 hora y 30 minutos, debiéndose mantener la temperatura de flujo a 70°C que es movido por impulso peristáltico a 260 RPM.

7. Del complejo líquido de Zinc obtenido en la etapa de lixiviación, dependiendo de la forma del Zinc que se quiera obtener como producto final, este se recupera en dos formas: una primera como sulfato de Zinc y una segunda como cátodos de Zinc.

En la primera forma deseada, mostrada en la Figura 1, el líquido que contiene fundamentalmente el Zinc es previamente evaporado al vacío, esta operación se efectúa en un evaporador al vacío convencional, en donde se reduce el volumen de agua en un 96%, en el presente caso se evaporan 126,89 m³ de agua, enviando el vapor de agua al sistema de condensación, de donde el agua es reciclada a las diversas necesidades de agua del proceso.

El proceso de evaporación impide que los iones metálicos y no metálicos abandonen la solución, los vapores de agua no contienen iones. A medida que se reduce el volumen de agua líquida, la concentración de Zinc se va incrementado.

Para la obtención de Sulfato de Zinc, que da el mayor valor agregado, se produce 4,11 m³ de solución sobre saturada de Zn que contiene 1.800 gr.

Zn/L, la cual ingresa al proceso de cristalización en etapas y en contracorriente en un reactor convencional encapsulado con un delta de temperatura de 40°C, obteniéndose 33,52 TM de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ con un % de Zn promedio de 22,62% grado comercial, se produce un incremento en el peso debido al agua de hidratación. Los primeros cristales son muy puros, los últimos cristales son menos puros. Lo que finalmente produce el cristizador en una mezcla de todos estos cristales que nos dan una composición típica mostrada en la Tabla 4.

En una segunda forma deseada para la recuperación de Zn en forma de Cátodos, mostrada en la Figura 2, se produce una solución sub - saturada que contiene 60 gramos por litro de Zinc para el proceso de electrodeposición de Zinc, mediante el procedimiento convencional ampliamente conocido en la industria metalúrgica (Cátodos de Zinc por Electrodeposición a partir de soluciones sulfúricas), obteniéndose 7,55 TM de cátodos de zinc con una pureza del 98%. En este caso, los líquidos son reciclados por evaporación al vacío y los lodos anódicos son agregados al concentrado de Plomo - Plata.

8. Las 28,65 TM de carbón (sólidos de polvo) de la etapa de lixiviación que son insolubles en condiciones normales, son sometidas a un proceso de flotación por un periodo de dos horas, con la finalidad de separar la Hematita presente mayoritariamente de los óxidos de Plomo, sulfato de calcio (yeso) y plata.

Debido a la naturaleza ultrafina de las partículas de todos los componentes los reactivos de flotación usados son los de la familia del Sulfuro de Sodio (Na_2S), en presencia de Carbonato de Sodio y Silicato de Sodio, con uso de Xantato y Aceite de Pino. Adicionalmente la Hematita necesita almidón como depresor, los cuales producen una excelente separación de un concentrado mineral de Plomo - Plata de calidad comercial cuya composición típica se reporta en la Tabla 2. En el presente ejemplo se obtiene 1,07 TM de concentrado de Plomo - Plata con contenidos de metales pesados adicionales, y 27,58 TM de Relaves conteniendo Fe_2O_3 , CaSO_4 , SiO_2 y otros minoritarios.

9. Las 27,58 TM de Relaves de la etapa de flotación ingresan a tres separadores magnéticos en línea con una densidad de flujo magnético entre 19 000 Gauss y 21 000 Gauss, con la finalidad de separar el Yeso de la Hematita. Esta operación se realiza a velocidades bajas entre 0,7 pies/min (12,8 m/s) y 0,8 pies/min (14,63 m/s) para evitar el arrastre de finos de yeso, y de menor a mayor densidad de flujo. En esta etapa se logra obtener 20,92 TM de concentrado de Hematita y 8,37 TM de Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), se produce un incremento de peso debido al agua de hidratación ($2\text{H}_2\text{O}$).
10. Los gases que se producen en las diferentes etapas del proceso son recuperados a fin de evitar que se liberen al medio ambiente a través de un sistema convencional catalítico encapsulado que cuenta con disipadores de calor mediante aire forzado para recuperación de SO_3/SO_2 , que capta los gases y soluciones de neblina ácida en soluciones diluidas de H_2SO_4 (al 70%) en presencia de catalizadores, la solución de captación se agrega al stock de Ácido Sulfúrico del Proceso. En ejemplo de realización se recuperan y reciclan 8,40 TM de SO_2 .
11. Los gases y corrientes de aire generados en las diversas áreas del proceso se envían a un sistema de purificación de líquidos con la finalidad de hacer eficiente el proceso y recuperar una porción pequeña de polvos que son arrastrados por dichos gases. El sistema de limpieza utilizado es uno a contracorriente, forzando a que el gas y las partículas pasen por sprays y neblina de agua a contracorriente ($1,2 \text{ m}^3$ por m^3 de gas), en forma repetitiva con varias columnas de lavado y serpentines. El gas antes de abandonar el proceso pasa por filtros ultrafinos para asegurar que no haya pérdida de sólidos. En el presente ejemplo de realización, 2 TM de gases de proceso (O_2 más partículas) se limpian mediante reactores comerciales, los sólidos son captados como lodos que son en esencia polvos de horno de arco eléctrico o calcina del proceso de termólisis, estos lodos son enviados al sistema de recolección de lodos, el líquido del proceso de lavado de gases es enviado a la unidad de purificación de líquidos (DETOX) mediante impulsión por bombas peristálticas.
12. Los lodos que se generan en las diversas áreas del proceso son recuperados en

un colector de lodos con la finalidad de evitar la pérdida de polvos por su naturaleza ultrafina. En el presente ejemplo de realización 120 Kg de lodos de todo el proceso se filtran a 3,5 bar (350 kPa) en dos bombas gemelas, la primera con una membrana de 5 micras y la segunda con membrana de 2,5 micras. Los sólidos obtenidos son agregados al Concentrado de Plomo/Plata, y el líquido resultante que tiene contenido iónico es enviado al sistema de purificación de soluciones.

13. Los flujos líquidos que contienen aniones, cationes, suspensión de partículas sólidas ultrafinas de los procesos de lavado de polvo, lavado de gases, colector de lodos y los flujos líquidos de la fase de flotación (concentrado y relaves) y eventualmente del proceso de limpieza y mantenimiento de cualquier reactor son enviados a una unidad de purificación de líquidos con el fin de ser sometidos a un proceso de descontaminación de aguas que utiliza tecnología disponible en el mercado, el cual consta de un sistema de separación química de iones, filtración de membrana a alta presión, evaporación al vacío, retomando el agua limpia al proceso de agua condensada industrial, cristalizando los contaminantes, y los sólidos son integrados (precipitados, lodos y cristales), homogeneizados y agregados convenientemente al Concentrado de Plomo-Plata para su respectiva comercialización.

En el ejemplo de realización se purifican 200 m³/día de líquidos.

La tabla 6, muestra la especificación y balance de productos del proceso para una aplicación típica de 40 TMD de polvos de arco eléctrico.

Tabla 6. Balance General del Proceso 40 TM polvo producen:

ZnSO ₄ .7H ₂ O	Fe ^o	CaSO ₄ .2H ₂ O	CC Pb Ag
Sulfato de Zinc Repta Hidratado	Hierro Reducido	Sulfato de Calcio Bi Hidratado	Concentrado de Plomo - Plata
TM	TM	TM	TM
33,52	7,31	8,37	1,07
Zn 22,61 % s 11,01 % ZnSO ₄ 55,47 %	Fe 93,417 % C 3,921 % Si 1,266 %	CaSO ₄ 52,26 % SiO ₂ 18,31 % Fe ₂ O ₃ 7,28 %	Pb 52,06 % Ag 81,33 Oz/TM Zn 4,88 %

Cl 0,71 %	Mn 0,669 %	ZnO 2,21 %	Cu 0,59 %
Fe 71 ppm	P 0,049 %	PbO 1,05 %	S 3,52 %
Hg Tr. ppm	S 0,056 %	HMe 0,17 %	insolubles 5,11 %
Pb Tr. ppm			SiO ₂ 1,95 %
H Me 2 ppm			Ca 0,68 %
			Mn 0,51 %
			Bi 0,12 %
			Sb 0,26 %
			As 0,08 %
			Mg 0,17 %
			Al 0,41 %
			P 0,19 %
			Cd 117 ppm
			Ba 437 ppm
			Sn 370 ppm

A continuación, se indica las referencias y su significado para las figuras acompañantes:

En la Figura 1:

1. ACONDICIONAMIENTO
2. LAVADO (10 Min. T Amb.)
3. SULFATACIÓN EXTENSIVA (20 Min. 150C)
4. SECADO (10 Min. 200C)
5. TERMÓLISIS (2 H 700C)
6. LIXIVIACION ACUOSA (1,5 H. 70C)
7. RECUPERACIÓN DE ZINC (Continuo 70C)
8. FLOTACION Pb/ Ag
9. SEPARACION MAGNÉTICA
10. SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE SO₂/SO₃
11. SISTEMA DE LAVADO DE GASES
12. RECUPERACIÓN DE LODOS (COLECTOR)
13. PURIFICACIÓN DE LÍQUIDOS (DETOX)

A : H_2O

B : Polvo de EAF

C : H_2SO_4

D : CONDENSADOR

E : EVAPORACIÓN (Continuo 70C)

F : L/S

G : REDUCCIÓN

H : S/L

I : L/S

J : $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

K : Fe^0

L : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

M : CC Pb/Ag

Los elementos indicados en la Figura 2 son idénticos a los elementos indicados de la Figura 1 a excepción de los siguientes:

7*. RECUPERACIÓN DE ZINC EW

J*: Zn^0

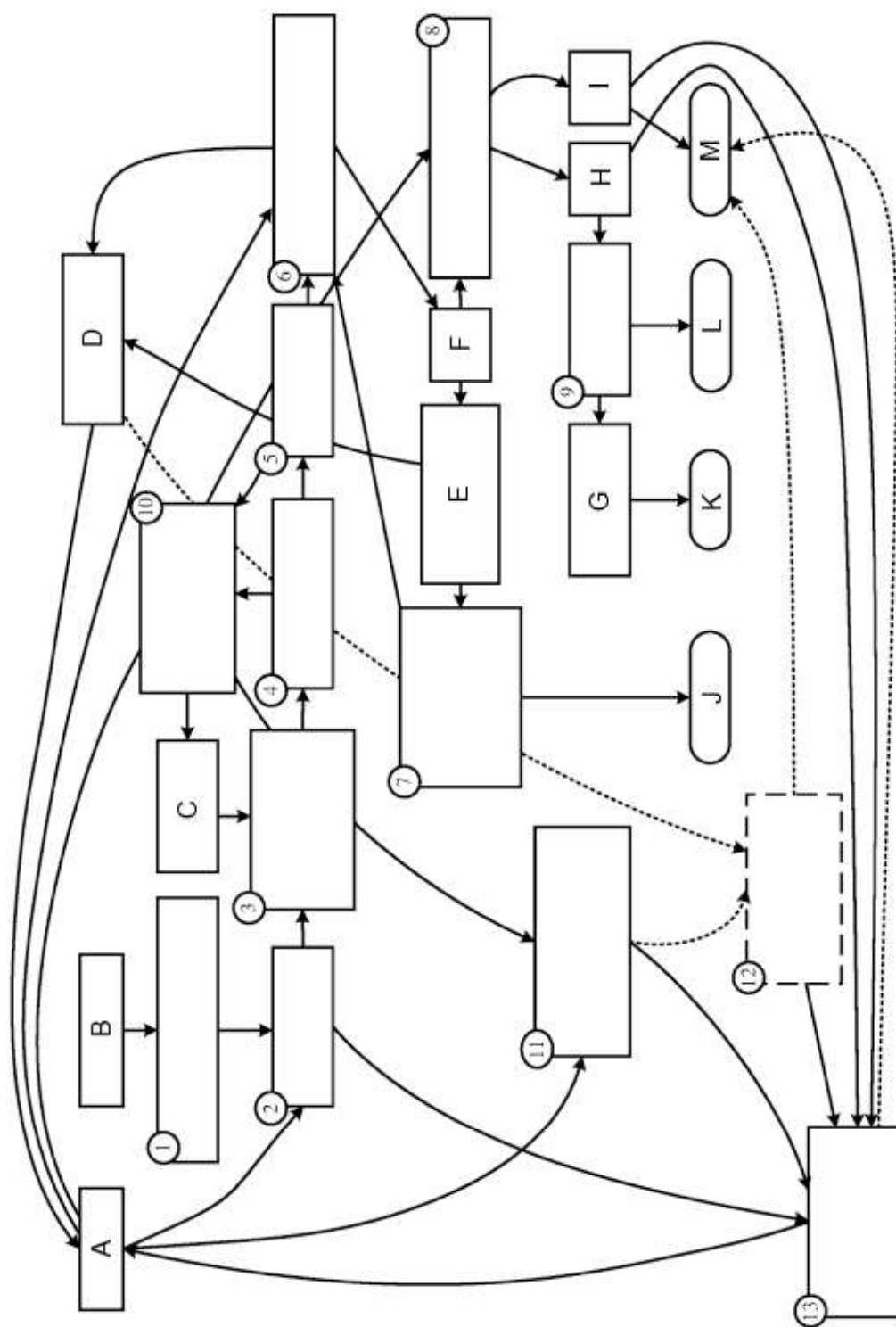


Figura 1

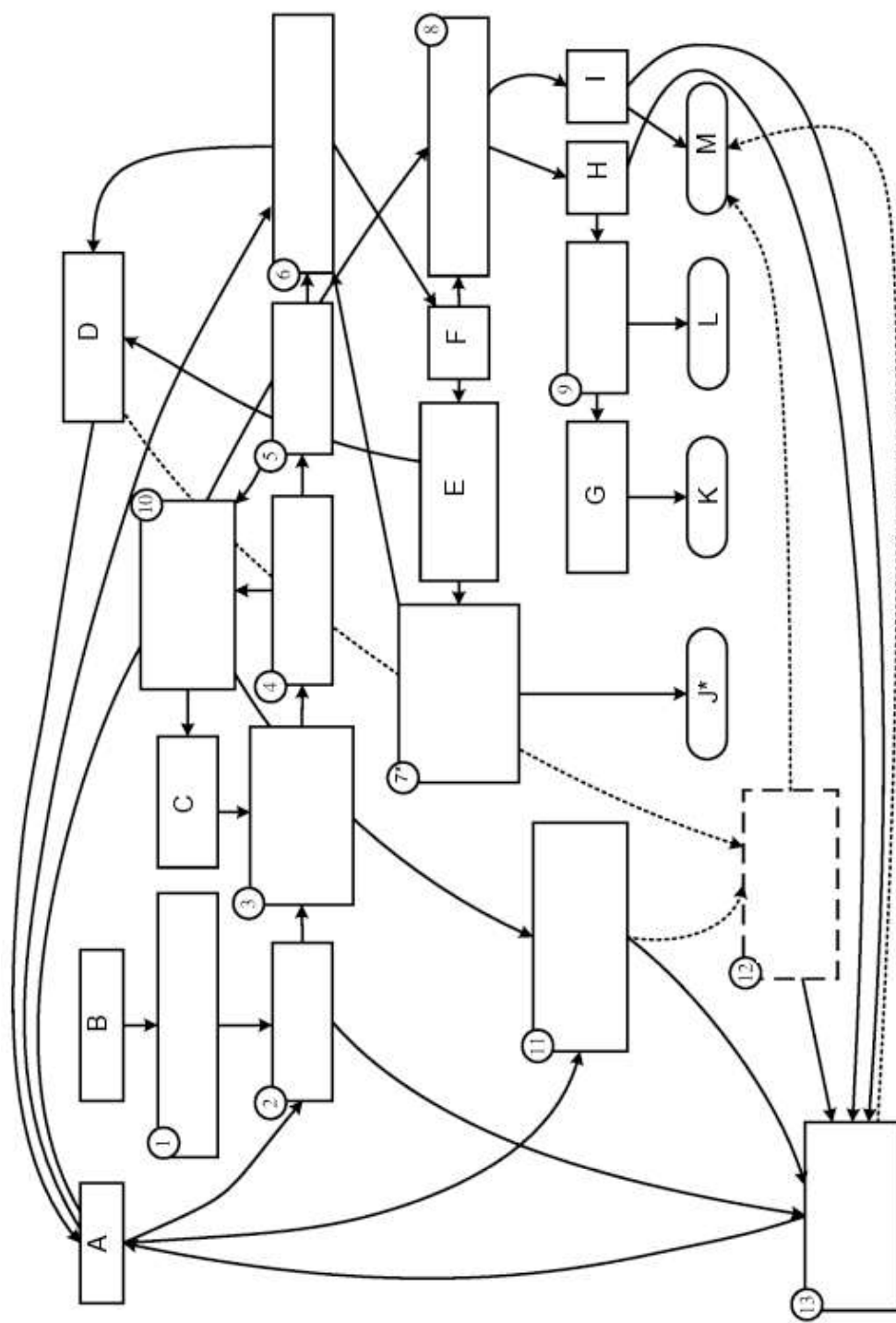


Figura 2

REIVINDICACIONES

1. Proceso hidrometalúrgico para la extracción de metales y yeso de cualquier tipo de polvo de horno de arco eléctrico de acerías, recuperando y extrayendo simultáneamente zinc, plomo, plata, hierro y calcio, en la forma de productos industriales; el zinc como sulfato de zinc o cátodos de zinc, el plomo y la plata como un concentrado de plomo y plata, el hierro como hierro reducido elemental para retomo al horno de arco eléctrico, finalmente el calcio como yeso, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:
 - 1) acondicionamiento de los polvos de horno de arco eléctrico que consiste en homogeneizar e identificar su composición química en los contenidos de Zn, Fe, Cl, Pb, Ca, Ag, Cd, Hg, donde se realiza en un mezclador encapsulado que produce la mezcla homogénea, constituyendo el stock homogéneo de polvo de horno de arco eléctrico que se almacena en tolvas encapsuladas, el cual ingresará al proceso después de haberse efectuado el análisis químico respectivo y donde una vez acondicionados pasan a la etapa 2) lavado;
 - 2) lavado de los polvos de la etapa 1) con agua, con halógenos presentes, donde se procede a transportar el polvo homogeneizado de las tolvas encapsuladas a los tanques de lavado, donde el agua proviene del sistema de alimentación de agua condensada que tiene ausencia de sales así como de gases disueltos e ingresa a una temperatura de 80°C con una relación másica de 3 a 1, donde los tanques de lavado mantienen una suspensión constante mediante agitación mecánica por 15 minutos en la primera parte del lavado, produciéndose un líquido cargado de los complejos solubles de Cl, Na, K, Mg, Ca, Ba, el cual es enviado a la etapa 13) que es la unidad de purificación de líquidos del proceso, donde la pulpa ingresa a un segundo tiempo de lavado de 10 minutos con agua de las mismas características del proceso para forzar una segunda disolución de halógenos, de forma similar se envía el líquido a la etapa 13), donde los sólidos lavados insolubles previamente filtrados son enviados a la etapa 3) sulfatación extensiva;
 - 3) sulfatación extensiva que consiste en la adición de ácido sulfúrico a los sólidos de la etapa 2) lavado, donde en esta reacción se mezcla en peso una parte de polvo de horno de arco eléctrico lavado con 0,87 partes de ácido sulfúrico puro en un reactor de mezcla continua generándose una pasta, donde la reacción es exotérmica, se lleva a cabo en un rango de 120°C a 150°C, a la que se le agrega agua a 80°C del sistema de generación de agua condensada y mantener la condición plástica de la pasta;
 - 4) secado que consiste en secar la mezcla sulfatada de polvos de horno de arco eléctrico en el mismo reactor de sulfatación, el cual sigue operando

a mezcla continúa incrementándose la temperatura del reactor a 200°C; la pasta procede a secarse, con formación de cristales aglomerados de color gris oscuro;

- 5) termólisis donde en esta etapa se convierte una parte del complejo en soluble de sulfato de zinc y la otra parte en insoluble de óxido de hierro; consiste en que después de la etapa de secado se incrementa la temperatura del reactor a un rango de trabajo de entre 680°C a 720°C basado en la concentración de Zn, Fe, Pb, en la pasta, donde se mantiene la mezcla mecánica en forma constante de manera que los cristales formados en la fase de secado puedan incrementar su temperatura en forma homogénea, siendo el tiempo de reacción de 2 horas;
- 6) lixiviación acuosa, donde en esta etapa se obtienen dos nuevos complejos, uno líquido que contiene el zinc, el otro de naturaleza insoluble constituido por la hematita, yeso, óxidos de plomo, donde la lixiviación se lleva a cabo a 70°C con una velocidad de 260 rpm en tanques encapsulados con un sistema de extracción de vapor, manteniendo una relación sólido líquido de 1 a 3,6 siendo el rango del tiempo de lixiviación de 1 hora a 1 hora con 30 minutos;
- 7) recuperación de zinc; en esta etapa se obtiene la recuperación de zinc, donde la primera forma es como sulfato de zinc mediante evaporación con posterior cristalización, y donde la segunda forma es como cátodos de zinc por electrodeposición;
- 8) flotación, donde en esta etapa se separa la hematita de los otros compuestos; donde se obtiene un concentrado de plomo plata de 52.26% de Pb con 81 onzas troy de Ag; el otro producto es la mezcla de la hematita con el yeso el cual se provee a la etapa 9) separación magnética;
- 9) separación magnética, donde en esta etapa la hematita aún contiene yeso, debiéndose separar el yeso de la hematita a velocidades bajas entre 0,7 pies/min (12,8 m/s) y 0,8 pies/min (14,63 m/s) del separador magnético y a una densidad de flujo magnético entre 19 000 Gauss (19 T) y 21 000 Gauss (21 T);
- 10) sistema de recuperación de gases, donde en esta etapa el proceso comprende un sistema convencional catalítico para recuperación de SO₃/SO₂, que capta los gases en soluciones diluidas de H₂SO₄ (al 70%) en presencia de catalizadores, la solución de captación se agrega al stock de ácido sulfúrico del proceso, contando el sistema convencional catalítico con disipadores de calor mediante aire forzado y se encuentra encapsulado;
- 11) sistema de lavado de gases, donde en esta etapa los gases del sistema son fundamentalmente aire, O₂ y CO₂, forzando a que el gas y las

partículas pasen por sprays y neblina de agua a contracorriente a $1,2 \text{ m}^3$ por m^3 de gas, en forma repetitiva con varias columnas de lavado y serpentines, pasando el gas antes de abandonar el proceso por filtros ultrafinos para asegurar sin pérdida de sólidos;

- 12) recuperación de lodos, donde estos lodos son filtrados mediante dos bombas gemelas con membranas de resinas fenólicas a una presión de 3,5 bar (350 kPa), la primera con una membrana de 5 micras y la segunda con una membrana de 2,5 micras; y,
 - 13) purificación de líquidos donde en esta etapa recibe los flujos líquidos de las etapas 11) sistema de lavado de gases, 12) recuperación de lodos, 8) flotación, que consta de un sistema de separación de iones por filtración de membranas a alta presión con evaporación al vacío, retorna el agua limpia al proceso sin generación de efluentes, los sólidos (precipitados, lodos, cristales) son agregados al concentrado plomo plata.
2. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en la etapa 3) se requiere una mezcla enérgica permanente durante 20 minutos; manteniendo la pasta viscosa homogénea hasta el agotamiento del ácido sulfúrico obteniéndose una sola fase sólida.
 3. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** en la etapa 3) no se producen líquidos de forma alguna, donde se produce vapor de agua con neblina ácida, donde estos se envían a la etapa 10) sistema de recuperación SO_2/SO_3 y donde son recuperados retornando al sistema de ácido sulfúrico del proceso.
 4. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 3, así como la reivindicación 5, **caracterizado porque** en la etapa 3) se procede al rompimiento de las moléculas óxidos, reemplazando el oxígeno en las moléculas por el compuesto típico SO_4 .
 5. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en la etapa 4) la duración es de 10 minutos con eliminación de agua contenida.
 6. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en la etapa 5) se produce la reacción de termólisis del sulfato de hierro como reacción principal que produce la formación de Hematita; además la generación de los gases SO_2/O_2 , de acuerdo a la siguiente reacción: $4\text{FeSO}_4 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{SO}_2 + \text{O}_2$.
 7. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** la reacción se lleva a cabo a presión atmosférica; los gases generados son enviados a la etapa 10) Sistema de recuperación de SO_2/SO_3 donde se recuperan retornando así al stock de ácido sulfúrico del proceso, donde además de la reacción de descomposición térmica del hierro los óxidos con menor energía de formación en función al hierro también se descomponen entre estos tenemos a los de Pb, Ag, Si, Mn, P, Sn, Cd, Ni, Bi.

8. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado porque** la hematita así como todos los demás óxidos formados son insolubles, donde el zinc se mantiene como sulfato soluble, y donde se obtiene así una mezcla con estas propiedades que se envía a una tolva a 70°C.
9. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en la etapa 6), el agua de lixiviación proviene del sistema de agua condensada, que es un sistema de contracorriente, de forma que los sólidos van solubilizando y perdiendo progresivamente el Zinc, mientras que la solución va incrementándose progresivamente en el contenido de Zinc y en menor manera, en los contenidos de Mn y C.
10. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado porque** el agua de lixiviación está a una temperatura de 70°C y donde la fase sólida está constituida por la hematita, yeso y óxido de plomo.
11. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en la etapa 8) (flotación) se produce el concentrado plomo plata; la hematita, el yeso junto a los óxidos de plomo son sometidos a flotación con Na_2S y se obtiene un concentrado plomo plata con el Pb.
12. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en la etapa 9) (separación magnética) se produce el concentrado de yeso, separándose de la Hematita y se obtiene un concentrado de yeso.
13. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en una tercera realización preferida en la etapa 9) (separación magnética) se produce el hierro reducido.
14. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en una cuarta realización preferida en la etapa 7) (recuperación de zinc) se produce sulfato de zinc; el líquido que contiene el zinc es evaporado al vacío por lo que se incrementa la concentración de zinc hasta 1,800 gramos por litro; por el proceso de cristalización se obtiene el sulfato de zinc.
15. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en una quinta realización preferida en la etapa 7) (recuperación de zinc) se producen cátodos de zinc; se produce una solución subsaturada de 60 gramos por litro de zinc para el proceso de electro refinación de zinc, mediante el procedimiento convencional de cátodos de zinc por electrodeposición a partir de soluciones sulfúricas.
16. El proceso hidrometalúrgico de acuerdo con la reivindicación 1 y 15, **caracterizado porque** todos los líquidos son reciclados por evaporación al vacío en la etapa 13) (purificación de líquidos), donde los lodos anódicos generados son agregados al concentrado plomo plata.



**Superintendencia de
Industria y Comercio**

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT: 800.176.089-2

COMPROBANTE DE RECAUDO SISTEMA SIPI

Radicado: NC2026/0001000

Recibo: 26-224701

Fecha: 29/01/2026

JUAN CARLOS URIBE RESTREPO

CC: 79.159.313

Pago PSE No: 1218250

CUS: 18636534

NC Modificación a las reivindicaciones
Request on Patente PCT NC2022/0011061

Detalle del pago

Id.	Rentístico	Concepto y Servicio	Cant.	Val. Unit.	Subtotal
1	50005-01-03	Modificaciones / Correcciones al registro Patente PCT (DESCUENTO INTERNET)	1	\$ 236,500	\$ 236,500
TOTAL					\$ 236,500