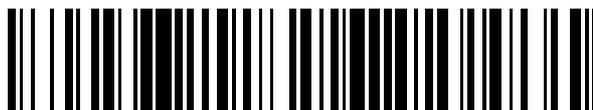


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 466 265**

51 Int. Cl.:

C22B 23/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2006 E 06291817 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2014 EP 1790739**

54 Título: **Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales base a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila y productos que contienen níquel, cobalto y otros metales procedentes de menas de laterita**

30 Prioridad:

28.11.2005 BR PI0505828

30.10.2006 BR PI0605643

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

09.06.2014

73 Titular/es:

VALE S.A. (100.0%)
Avenida Graça Aranha 26, 19th floor
Rio de Janeiro , BR

72 Inventor/es:

SANTOS DE PONTES PEREIRA, GEYSA y
DE ARAÚJO GOBBO, OLIVER RENATO

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 466 265 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

Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales base a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila y productos que contienen níquel, cobalto y otros metales procedentes de menas de laterita

- 5 La presente invención comprende un procedimiento para la extracción de níquel, cobalto, cinc, hierro, y cobre, entre otros metales, a partir de menas de laterita, con menos inversión y costes operativos que los procedimientos conocidos de la persona experta en la materia. El procedimiento de acuerdo con la invención usa el lixiviado en pila, que es un proceso de extracción de componentes solubles a partir de una mezcla de laterita sólida apilada mediante percolación con soluciones ácidas.

Estado de la técnica

- 10 En general, la metalurgia extractiva se define como la ciencia y el arte de extraer metales de minerales y/o de los materiales que los contienen mediante procedimientos físicos y químicos. La metalurgia extractiva se puede dividir en tres ramas principales: hidrometalurgia, pirometalurgia, y electrometalurgia.

- 15 La hidrometalurgia es la técnica de extracción de metales mediante procedimientos fisicoquímicos por vía húmeda; la pirometalurgia implica el uso de procedimientos fisicoquímicos por vía seca a temperaturas elevadas; y la electrometalurgia se refiere al uso de procedimientos electrolíticos. Normalmente, la electrometalurgia se integra en los otros dos procedimientos, donde la electrolisis en medio acuoso se usa en la hidrometalurgia, y la electrolisis en medios fundidos se usa en la pirometalurgia.

- 20 La metalurgia extractiva también se basa en diversas operaciones unitarias para facilitar y potenciar la concentración y/o la separación de metales, que incluyen, entre otras: procedimientos de dilaceración (trituration y molienda), procedimientos de concentración física (separación magnética, por gravedad, y electrostática), procedimientos de concentración fisicoquímicos (flotación), y procedimientos de separación sólido-líquido (espesamiento, filtración y secado).

- 25 La hidrometalurgia se lleva a cabo en tres etapas fisicoquímicas diferenciadas y secuenciales: (a) disolución selectiva de metales contenidos en la fase sólida (lixiviado); (b) purificación y/o concentración de las soluciones acuosas que comprenden los metales diana (precipitación, cementación, intercambio iónico, o extracción con disolventes); y (c) recuperación selectiva de metales (electrodeposición, electrorrefinado, y reducción de hidrógeno).

- 30 La aplicación de rutas hidrometalúrgicas en la recuperación de metales ha aumentado de forma significativa en los últimos cincuenta años, y este aumento está fuertemente vinculado al hecho de que los depósitos de alta calidad ya están siendo explorados, y como resultado, las calidades son cada vez peores y los minerales incluso más complejos, lo que necesita etapas de preconcentración. Además, esta alternativa tiene un impacto ambiental inferior y es menos intensivo en requisitos de coste de capital cuando se compara con los tradicionales procedimientos pirometalúrgicos.

- 35 La extracción de una fracción soluble de un componente sólido insoluble mediante un disolvente se denomina por lo general *lixiviado*, y es un proceso de transferencia de materia. Taggart apud Arbiter, en Copper Hydrometallurgy-Evolution and milestones, Hydrometallurgy - Fundamentals, Technology and Innovation, 1993, pp. 549-565, la definen como la operación en la que existe un contacto eficaz entre la mena a lixiviar y el disolvente.

- El lixiviado puede llevarse a cabo en condiciones ambientales, o a temperaturas elevadas y/o bajo presión. Las condiciones del procedimiento dependen de las reacciones químicas que se producen. En todos los casos, el objetivo es producir iones o complejos metálicos que se pueden extraer de forma selectiva desde la solución.

- 40 En un procedimiento de lixiviado, cualquier reactivo que se utilice como disolvente deberá cumplir al menos las siguientes cualidades, tal como describen Gupta y col. en Hydrometallurgy in Extraction Processes, vol I, p. 39,

- Deberá disolver los minerales lo suficientemente rápido para que el procedimiento sea económicamente factible, y preferiblemente debe ser químicamente inerte para los minerales de la ganga.
 - Debe ser barato y fácilmente disponible en grandes cantidades.
 - Si es posible, deberá regenerarse en procedimientos posteriores a la etapa de lixiviado.
- 45

Además del agua, que se usa para lixiviar cloruros o sulfatos solubles, se han usado disolventes muy distintos en diferentes aplicaciones de lixiviado, tal como se muestra en los ejemplos de la Tabla 1 siguiente.

Clasificación de los agentes de lixiviado

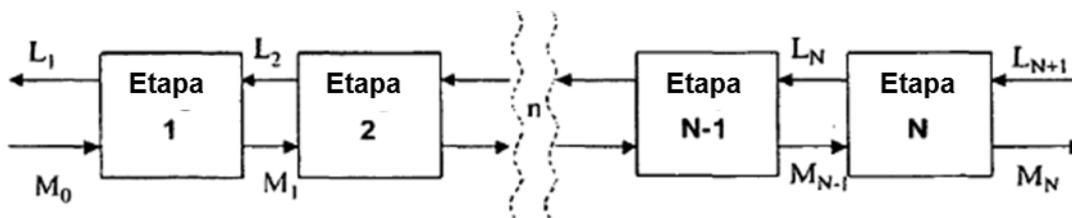
TABLA 1

Categoría	Reactivo	Aplicación
Ácidos	H2SO4 diluido	Óxidos de cobre, óxido de cinc, níquel laterítico
	H2SO4 diluido con oxidante	Sulfuros de Cu, Ni y Zn, mena de uranio oxidado
	H2SO4 concentrado	Cobre sulfurado concentrado, lateritas,
	Ácido nítrico	Sulfuros de Cu, Ni y Mo, concentrados de uranio, óxido de circonio
	Ácido fluorhídrico	Mineral de columbita-tantalio
	Ácido clorhídrico,	Minerales de titanio, mata de níquel, casiterita reducida
Álcalis	Hidróxido de sodio,	Bauxita
	Carbonato de sodio	Óxido de uranio, scheelita
	Hidróxido de amonio	Sulfuro de níquel, sulfuro de cobre, laterita reducida
Sales	Sulfato/cloruro férrico	Concentrados de sulfuros metálicos base
	Cloruro de cobre	Concentrados de sulfuros metálicos base
	Cianuro de sodio o potasio	Minerales de oro y plata
	Cloruro ferroso	Sulfuro de níquel
Agua	Agua	Sulfuros y cloruros, vanadato de sodio, molibdato de sodio, tungstanato de sodio

5 Ácidos tales como el ácido sulfúrico, clorhídrico, y nítrico son los ácidos más usados en los procedimientos de disolución tales como el lixiviado. De estos, el ácido sulfúrico es el de mayor uso y el de menor coste.

Como sabe la persona experta en la materia., de acuerdo con Perry y Chilton en el Chemical Engineer's Handbook, los sistemas de lixiviado se pueden clasificar en según el ciclo de lixiviado (discontinuo, continuo, o multilote intermitente); según la dirección del flujo (en corriente paralela, contracorriente, o híbrido); por el tipo de etapas (una sola etapa, multietapa, o etapa diferencial); y por el procedimiento de contacto (percolación o sólidos dispersos).

10 En un procedimiento multietapa, sistema contracorriente (Foust y col., Principles of Unit Operations, 1960, pp. 43-49), las dos fases entran por los extremos opuestos de una serie de etapas de equilibrio, tal como se muestra en el ESQUEMA 1 siguiente. Las fases fluyen en direcciones opuestas entre sí. De esta forma, la concentración de soluto en la fase L producto puede aumentar, y es posible una mayor recuperación de soluto con menor cantidad de disolvente.



ESQUEMA 1

15 Con respecto al método de contacto, el lixiviado se puede agrupar en lixiviado *in-situ*, lixiviado en pila o lixiviado en escombrera, (lixiviado por percolación) y lixiviación con agitación (a presión atmosférica y bajo presión).

20 EN EL DIAGRAMA DE FLUJO 1 siguiente, se puede verificar, por lo general, cuantas operaciones unitarias se pueden asociar a los procedimientos de lixiviado principales actualmente disponibles para el tratamiento de menas y concentrados de acuerdo con Esteban Domic en Hidrometalurgia - Fundamentos, procesos y aplicaciones, 2001.

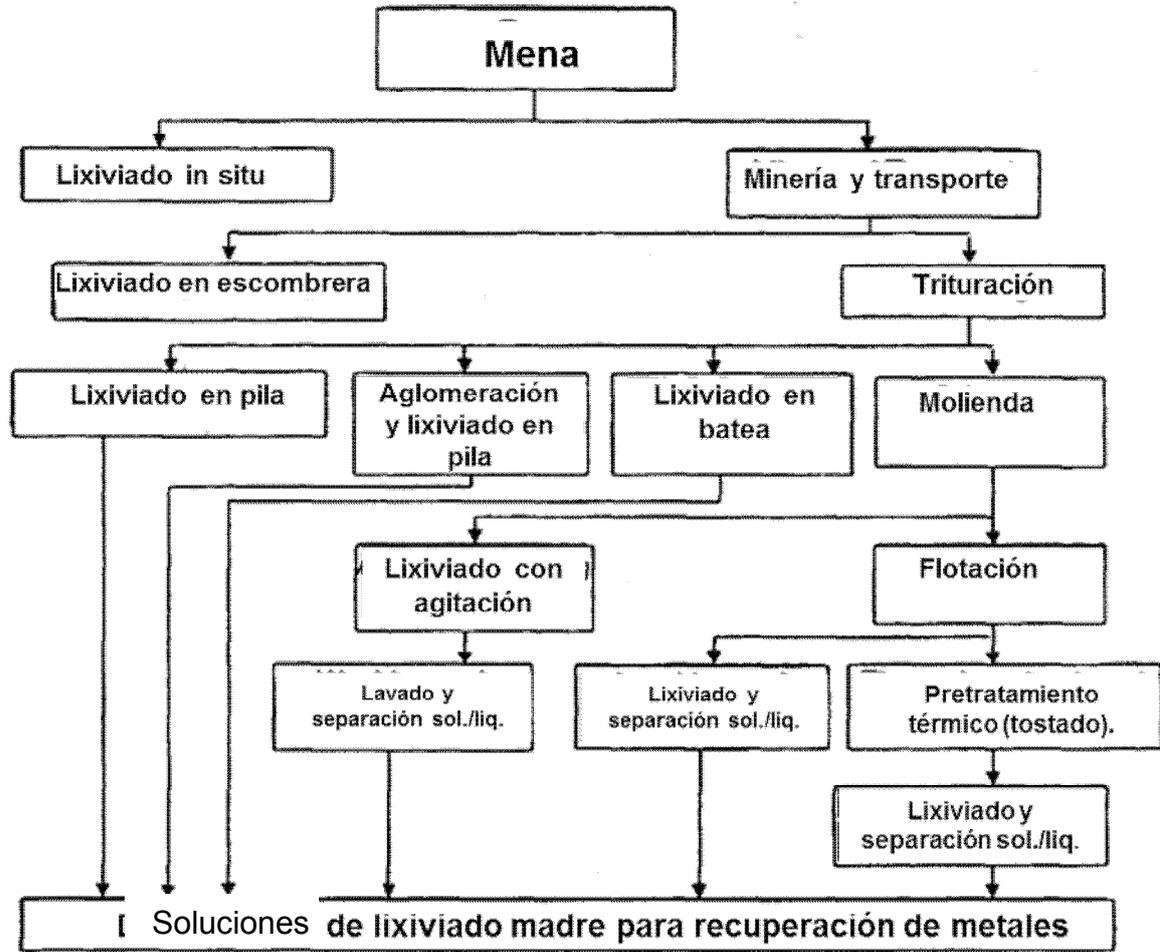


DIAGRAMA DE FLUJO 1

El lixiviado in situ consiste en aplicar una solución de lixiviado directamente en el lugar donde la mena está ubicada en el interior del propio depósito, sin necesidad de extraerla.

- 5 El lixiviado en pila es posiblemente uno de los procedimientos más antiguos, siendo el más antiguo el usado en la recuperación de cobre. En España se ha usado desde el siglo XVI para la recuperación de cobre. En este procedimiento de lixiviado, la mena, que normalmente se ha aglomerado antes con ácido sulfúrico concentrado, se apila, y la solución de lixiviado se aplica a la parte superior de la pila, por la que percola por gravedad, recogándose al pie de la pila. La aplicación y distribución de la solución de lixiviado se lleva a cabo en la parte superior de la pila mediante goteros o rociadores de tipo oscilante. El sistema de irrigación se define en función de la evaporación y la disponibilidad de agua. La solución que contiene el metal objetivo se envía a etapas de purificación/extracción posteriores. El lixiviado en pila se usa para menas trituradas, mientras que el lixiviado en escombrera se usa para el ROM (por sus siglas en inglés *run on mine*, ejecución en la mina). El lixiviado en escombrera, que es muy similar a los procedimientos anteriormente descritos, consiste en tratar menas con calidades muy bajas del metal objetivo, normalmente por debajo de la calidad de corte desde el punto de vista económico para la línea de procesado principal, conocida como residuo mineralizado. En el procedimiento de lixiviado en pila, las pilas pueden ser tanto dinámicas como permanentes. En el caso de pilas dinámicas, también denominadas pilas on-off, en las que la mena ya lixiviada se retira a una ubicación para el vertido final de los lodos, la base de la pila se vuelve a usar. En el caso de pilas permanentes, o pilas estáticas, la pila nueva se forma sobre las anteriores, usando o no el área impermeabilizada ya existente.
- 10
- 15
- 20 La lixiviación en batea (en tanques estáticos) comprende un conjunto de tanques de sección transversal cuadrada en los que se introduce el material lixiviado, y la solución de lixiviado se aplica de forma que fluya con flujo ascendente o descendente, inundando de esta forma la capa de mena. Se trata de un sistema muy dinámico adecuado para lixiviar minerales que tienen cinéticas de disolución rápidas. Normalmente, el ciclo de lixiviado dura de 6 a 12 días.
- 25 El lixiviado con agitación, tanto a presión atmosférica como bajo presión, requiere que la mena esté finamente

triturada, y se lleva a cabo en tanques donde los sólidos se dispersan en la solución de lixiviado mediante inyección de gases o agitación mecánica. Comparado con el resto de procedimientos, el tiempo de lixiviado es inferior debido al pequeño tamaño de partícula (mayor superficie específica) y a la turbulencia del tanque, que proporciona difusión suficiente entre el reactivo y la mena.

- 5 Dos diferencias importantes resultan evidentes entre la lixiviación en batea y la lixiviación con agitación. En primer lugar, en la lixiviación con agitación, el líquido es la fase continua y, en segundo lugar, esta forma de lixiviado tiene lugar en condiciones turbulentas, mientras que en la lixiviación en batea el flujo suele ser habitualmente de tipo laminar. Existe, por lo tanto, una diferencia importante entre las velocidades de transferencia de materia en ambos tipos de lixiviación. Las mayores transferencias de materia se consiguen en condiciones de contacto de tipo

10 turbulento.

La aplicación del lixiviado en pila como procedimiento para la extracción de oro (cianuración en medio alcalino), cobre, uranio, níquel (lixiviado con sulfúrico en medio ácido), y otros minerales ha aumentado en los últimos años, debido a la posibilidad de tratamiento de minerales de calidad muy baja que no sería económicamente factible mediante procedimientos convencionales, y también porque es una alternativa al tratamiento de minerales que

15 tienen cinéticas de disolución muy lentas.

El lixiviado en pila para el cobre es ampliamente conocido. Históricamente, el método pionero se usó en las minas de Río Tinto, en España, hace aproximadamente 300 años.

En el lixiviado en pila del cobre, la mena se tritura, a continuación se aglomera con ácido sulfúrico concentrado, y se apila sobre una base que se ha preparado e impermeabilizado de forma adecuada. Las alturas de la pila varían mucho, comprendidas entre 1,5 m y 30 m. La solución de lixiviado (ácido sulfúrico diluido) se pulveriza en la parte superior de la pila, y percola por gravedad descendiendo por la mena. La solución cargada que contiene el cobre solubilizado se recoge y se envía a un circuito de recolección de cobre que, de forma típica, es un circuito de extracción con disolvente y electrodeposición. Se trata de un procedimiento bien conocido, y el conjunto de operaciones unitarias de lixiviado en pila/extracción con disolvente/electrodeposición se ha aplicado a escala

25 comercial durante más de 40 años.

Independientemente del tipo de mena, la ruta de procesamiento en la que la etapa de solubilización del metal diana se lleva a cabo mediante el lixiviado en pila requiere las etapas de trituración/molienda. Para el procesamiento, es muy importante que la pila tenga buena permeabilidad, con buen contacto entre la mena y la solución. Como bien se recoge en el documento US5077021, los minerales que contienen grandes cantidades de minerales de arcillas o de grano fino (por lo general, material por debajo de 0,15 mm) tienen problemas en este tipo de procedimientos, porque tienden a ralentizar e incluso detener la percolación en determinadas zonas de la pila, como resultado del bloqueo. Es del conocimiento general que el bloqueo se debe a la segregación de materiales, donde los materiales de grano fino y/o las arcillas migran a determinadas zonas en el interior de la pila, creando de esta forma zonas con velocidades de percolación marcadamente diferentes. Como consecuencia de este efecto, la solución comienza a seguir rutas de flujo de menos resistencia, creando canales de flujo preferidos. La creación de estos canales de flujo preferidos deja inalteradas zonas de la pila, con una consecuente recuperación inferior del metal diana. La formación de una "suspensión" debido a las partículas finas liberadas y/o a los minerales de arcilla, cuando es muy importante, tiende al bloqueo. Por lo tanto, es obligatorio que el lecho se convierta en permeable durante el procedimiento, bien eliminando los materiales de grano fino y/o las arcillas o aglomerándolos. La etapa de aglomeración posterior a la trituración, como la preparación de la mena para su apilado, es un punto fundamental e inherente a la ruta de lixiviado en pila para cualquier mena, ya sea de oro, uranio, vanadio, plata, cobre, cinc, o níquel, menas de óxido o sulfuro.

Como saben todas las personas expertas en la materia, las menas de níquel se pueden clasificar en dos tipos principales en función de su composición, concretamente, sulfuro y laterita (esta última también se conoce como oxidado). Con origen en las capas subterráneas situadas por debajo de la región saprolítica (una región rica en arcillas), los depósitos de sulfuro corresponden a aproximadamente el 20 % de las reservas occidentales de níquel, y se encuentran principalmente en Australia, seguidos por Canadá, China, Sudáfrica, y Zimbabue. Aproximadamente el 55 % de la producción total de níquel procede de menas de sulfuro.

La laterita se produce en regiones más superficiales. Los depósitos se encuentran principalmente en Brasil, Cuba, Australia, Nueva Caledonia, y Filipinas, con calidades promedio de aproximadamente 1,95 % y un contenido en óxidos de hierro superior al 24 %, y presencia de cobalto y magnesio. La mena de laterita corresponde aproximadamente al 80 % de las reservas conocidas de níquel.

La creciente preocupación acerca de la producción de mena y la reducción en los costes de extracción ha motivado un mayor uso de mena de níquel de fuentes lateríticas. Dos factores contribuyen al uso creciente de estas menas: las reservas de sulfuro de níquel implican costes de extracción más altos, y las menas de laterita tienen mayores calidades de níquel que las menas de sulfuro, permitiendo una mayor eficacia, como se muestra en la Tabla 2 siguiente:

TABLA 2

	Mena (1.000 T)	Calidad (%)	Níquel (1.000 T)	%
Sulfuro	10.594	0,58	62	31
Laterita	10.382	1,34	140	69
Total	20.976	0,96	202	100

Fuente: Mineração e Metalurgia, mayo de 2000.

- 5 Las menas de laterita se pueden tratar tanto por la vía hidrometalúrgica como por la vía pirometalúrgica. Normalmente, estos procedimientos implican un elevado consumo de energía, como en el caso de la fundición en mata, la fundición para la producción de Fe-Ni, y los procedimientos de lixiviado con amonio, que convierten en no económico el procesamiento de menas de laterita con bajo contenido en níquel. El lixiviado con sulfúrico a alta presión implica menor consumo de energía, pero requiere una elevada inversión tanto en equipo como la debida al entorno fuertemente corrosivo.
- 10 Actualmente, el lixiviado con amoniaco y el lixiviado con ácido sulfúrico a presión son las dos técnicas hidrometalúrgicas principales usadas para la recuperación del níquel y el cobalto a partir de lateritas. Además del tratamiento químico relativamente agresivo y la elevada inversión de capital implicados, resultan fuertemente dependientes de los costes de combustible y de ácido sulfúrico/azufre, respectivamente.
- 15 Aunque el procedimiento de lixiviado con ácido sulfúrico a presión no representa una ganancia significativa en términos de costes de capital, comparado con las técnicas más convencionales, permite la obtención de una importante ventaja económica en términos de costes operativos. El procedimiento también permite una recuperación de mayores cantidades de cobalto, generando energía suficiente para el ciclo operativo, pero requiere escalas de producción mucho más grandes,
- 20 Los elevados precios del níquel y el cobalto también han impulsado a la industria a la búsqueda de procedimientos alternativos para reducir los costes operativos, de manera que se mantenga la rentabilidad del negocio a niveles de precio inferiores para el níquel y el cobalto.
- 25 El gran interés despertado por la producción de níquel en los últimos años ha llevado al desarrollo de una amplia gama de nuevas rutas de procesamiento para el tratamiento de menas lateríticas, tales como el lixiviado en pila, entre otros. El lixiviado en pila es una operación que implica inversiones y costes operativos bajos, es bien conocida, y se aplica ampliamente para las menas de cobre, uranio y oro.
- Aunque ampliamente usadas, las técnicas convencionales para la extracción de metales a partir de menas lateríticas pueden hacer que el procedimientos no sea factible desde el punto de vista económico, principalmente debido a la variabilidad den los precios de los combustibles y de los ácidos necesarios en dichos procedimientos.
- 30 El uso del lixiviado en pila para menas lateríticas representa un hito tecnológico para la industria del níquel, porque no solo convierte la minería de depósitos pequeños o de bajo contenido en algo económicamente factible, sino también se trata de un procesamiento mineral alternativo que requiere una inversión suficientemente menor cuando se compara con los procedimientos convencionales anteriormente mencionados.
- 35 Aunque ya se han estudiado y publicado en otros documentos, tales como en los procedimientos de patente GR 1001555, GR 1003569T, US 6312500, WO96/031422 y WO 2005/005671, los conceptos del lixiviado en pila tal como se proponen en dichos documentos presentan condiciones de procesamiento y configuraciones de sistema completamente diferentes a las propuestas en la presente solicitud de patente, como resultará evidente en el informe descriptivo.
- 40 Los primeros estudios relativos a esta solicitud se llevaron a cabo por S. Agatzini y tienen su origen en la patente griega GR 100155. El documento describe dos técnicas de lixiviado en pila aplicadas a menas que contienen bajas concentraciones de níquel. La técnica I tiene en cuenta una opción de circuito por el que se recircula la solución de lixiviado, esto es, se aplica a la mena en un número de contactos hasta que no se observa aumento en la concentración de níquel en el efluente del procesamiento. Después de esta estabilización, se prepara una nueva solución que se aplica a la mena. El disolvente usado es ácido sulfúrico, y la concentración inicial de la solución de ácido es 1 N. Se consideran velocidades de percolación de aproximadamente 4 a 33 l/h/m², preferiblemente entre 45 12,5 y 25 l/h/m². Como se ha descrito en esta técnica, en general, la solución resultado del proceso de lixivación está diluida, con bajas concentraciones de metales, y esto es fuertemente dependiente del tipo de mena y las etapas del procesamiento. La técnica II resuelve básicamente el mismo procedimiento descrito en la técnica I, e incluye una corrección del pH de la solución de lixiviado después de cada recirculación, antes de volverse a aplicar a la pila. El pH se corrige a su valor inicial. El procedimiento de lixiviado se considera finalizado cuando ya no hay aumento 50 adicional en la concentración de níquel de la solución. La solución resultante se puede usar posteriormente para

lixiviar otro material exactamente de la misma forma, hasta que se consigue la concentración de níquel deseada en la solución. Se resalta que la técnica presentada con recirculación continua no inhibe el lixiviado, excepto cuando la solución está saturada con un elemento específico, en cuyo caso se observa la precipitación en forma de un sedimento químico. De acuerdo con esta técnica, durante el procedimiento de lixiviado en pila de la mena de níquel de laterita, el aluminio es el primer metal que precipita después de saturar la solución.

La patente GR 1003569T describe casi las mismas características descritas en el documento GR 1001555, donde el agua corriente se sustituye por agua con diferentes composiciones químicas, o agua de efluentes municipales/industriales, o incluso agua de mar, que supuestamente no afecta la extracción del níquel y además aumenta las cantidades que se pueden recuperar de Mg, Ca y Na del licor percolado.

El documento US 6312500 presenta un procedimiento de lixiviado en pila para menas de níquel laterítico que contienen una cantidad sustancial de materiales de arcilla, que se define sustancialmente como un máximo del 25 % de arcillas. Si es necesario, la mena se tritura al tamaño deseado, menor de 25,0 mm, preferiblemente entre 19,0 mm y 3,35 mm. El procedimiento incluye una etapa de aglomeración previa a la formación de la pila, con ácido sulfúrico, debido al material fino presente en la mena. La aglomeración se lleva a cabo con equipo convencional, o en cualquier unidad que permita el uso de esta operación unitaria. Alternativamente, después de aglomerar, la mena se somete a curado. El tiempo de curado puede variar entre una hora y tres días. Esta etapa se lleva a cabo depositando la mena aglomerada en un área abierta, al aire libre. La mena aglomerada se apila a continuación para formar una pila cuya altura puede estar comprendida entre 60 cm y aproximadamente 9 m. Se pueden formar dos o más pilas. La solución ácida se aplica a la parte superior de la pila, a una velocidad de 10 a 20 l/h/m². El propio procedimiento de lixiviado se describe de la siguiente forma: La primera pila se lixivia con una solución reciente de H₂SO₄ que tiene una concentración como mínimo de 10 g/l. Si el pH de la solución efluente lixiviada de la pila es mayor de 2 (o el ácido libre es menos de 1 g/l), entonces la solución se puede redirigir a la recuperación del níquel. Si el pH es menor de 2, el licor se dirige a la pila 2. Además del licor procedente de la pila 1, se aplica a la pila 2 una nueva solución de H₂SO₄ (con una concentración como mínimo de 10 g/l). El licor de la pila 2 también se analiza para determinar la acidez libre. Si el pH es mayor de 2 o el ácido libre es menos de 1 g/l, entonces el licor se puede redirigir a la recuperación del níquel. Con estos niveles de acidez, no es necesario someter el licor a una etapa de neutralización posterior, ya que el níquel se puede extraer directamente de la solución, por ejemplo mediante intercambio iónico. La mayoría del licor se somete directamente a extracción del níquel, pero una porción se sigue dirigiendo a una tercera pila. El procedimiento puede continuar para varias pilas.

Aunque en la patente WO 2004/031422 se declara que el procedimiento no es específico del níquel, este elemento está incluido en una de sus reivindicaciones. Se reivindica que la mena debe estar aglomerada. La solución de lixiviado reivindicada contiene ácido sulfúrico y dióxido de azufre disuelto, y la solución se purga al circuito de recuperación de níquel, donde dicho ácido sulfúrico de la solución de lixiviado tiene una concentración de aproximadamente 785 g/l. En la presente invención, el dióxido de azufre se añade a la solución de lixiviado antes de su aplicación a la pila.

El documento WO2006/119559 describe un procedimiento de extracción de níquel y cobalto a partir de menas de óxido níquelferroso mediante lixiviado en pila que comprende las etapas de conformar la mena de óxido níquelferroso en una o más pilas, lixiviar la pila de mena con una solución de lixiviado donde la solución de lixiviado incluye un agua hipersalina enriquecida en ácido como lixivante, teniendo el agua hipersalina una concentración total de sólidos disueltos superior a 30 g/l, y recuperar el níquel y el cobalto del lixiviado de la pila resultante. Sin embargo, este documento no describe que el sistema de lixiviado en pila se hace funcionar de manera continua y que comprende dos o más etapas.

La publicación "A new method for recovering valuable metals from low grade nickeliferous oxide ores" Hydrometallurgy, (2005) Vol 80, nº 4 pp280-285 de Xu y col. se refiere a un procedimiento para extraer níquel a partir de menas de óxido níquelferroso de baja calidad que comprende las etapas de hidrólisis con ácido sulfúrico y de lixiviado con agua en un proceso de percolación en contracorriente en tres etapas. Sin embargo, este documento no describe el lixiviado en pila como tal.

Objetivos y ventajas de la invención

La solicitud de patente en el momento de su concesión, a diferencia de las otras anteriormente mencionadas, propone un procedimiento de procesamiento continuo, en el que el lixiviado de la mena se lleva a cabo en un sistema contracorriente que comprende un mínimo de 2 etapas, estando cada etapa representada bien por una sección de pila o por una pila.

El objetivo de la presente invención ha sido desarrollar una opción muy competitiva para extraer níquel, cobalto, cinc, y cobre, entre otros metales básicos, a partir de menas de laterita, con una menor inversión y menores costes operativos que los de otras vías tecnológicas establecidas, así como resolver, económicamente, el problema de extraer níquel de una mena de baja calidad y/o depósitos pequeños.

Otro objeto de la presente invención ha sido reducir significativamente el consumo de ácido sulfúrico del sistema, llegando a niveles de 350 kg de ácido por tonelada de mena tratada, con extracciones de níquel variables de 70 % a

90 % dependiendo de la composición mineralógica, además de proporcionar un ciclo de lixiviado más corto y favorecer el equilibrio hidráulico del sistema, y presentar una selectividad mejorada para la extracción de los metales diana con respecto a la ganga, y reducir drásticamente el volumen total de solución.

5 La invención comprende un procedimiento continuo en el que el lixiviado de la mena se lleva a cabo en un sistema contracorriente que comprende el uso de un mínimo de 2 etapas, estando cada etapa representada bien por una sección de pila o por una pila, que se puede aplicar a menas que contienen grandes cantidades de material fino natural, y que es una opción para el tratamiento de fracciones gruesas (> 0,5 mm) también. Un lixiviado en pila de ese tipo se presenta como una alternativa óptima para la extracción de níquel, cobalto, y cinc, entre otros metales básicos, a partir de una mena de laterita, con una menor inversión y menores costes operativos que los de otras vías tecnológicas establecidas, así como para resolver, económicamente, el problema de extraer níquel de una mena de baja calidad y/o depósitos pequeños.

Resumen de la descripción

15 La invención comprende un procedimiento para la extracción de níquel, cobalto, y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila, caracterizado por estar compuesto de trituración (I), que obtiene un tamaño del grano máximo entre aproximadamente 25,0 mm y aproximadamente 50,0 mm en una trituración secundaria, y un tamaño del grano máximo entre aproximadamente 12,5 mm y aproximadamente 6,30 mm en etapas de trituración terciaria, aglomeración (II), apilamiento (III), y lixiviado en pila (IV), siendo esta última etapa un sistema continuo contracorriente, y dinámico de lixiviado en pila con una o más etapas que presenten dos fases, una de las cuales está compuesta por la mena (soluto) y la otra compuesta por la solución de lixiviado, o disolvente, que se suministran en extremos opuestos de la serie de etapas y fluyen en direcciones opuestas hasta finalizar el lixiviado en la última etapa, su soluto se retira y se introduce una nueva etapa en la primera posición, formada por la nueva mena (soluto) a lixiviar por la solución disolvente, que se introduce desde la última etapa, percolando o fluyendo a través de todas las etapas anteriores hasta que alcanza la primera etapa, separándose cuando está cargada de los metales diana (PLS - solución de lixiviado madre).

Descripción detallada de la invención

25 La invención comprende un procedimiento para la extracción de níquel, cobalto, y otros metales a partir de menas lateríticas mediante lixiviado en pila, que comprende un procedimiento continuo en el que el lixiviado de la mena se lleva a cabo en un sistema contracorriente que comprende el uso de un mínimo de 2 etapas, estando cada etapa representada bien por una sección de pila o por una pila, que se puede aplicar a menas que contienen grandes cantidades de material fino natural, y es una opción para el tratamiento de fracciones gruesas (> 0,5 mm) también. Un lixiviado en pila de ese tipo se presenta a sí mismo como una alternativa óptima para la extracción de níquel, cobalto, y cinc, entre otros metales básicos, a partir de una mena de laterita, con una menor inversión y menores costes operativos que los de otras vías tecnológicas establecidas, así como para resolver, económicamente, el problema de extraer níquel de una mena de baja calidad y/o depósitos pequeños.

35 El DIAGRAMA 2, anexo al presente documento, es un diagrama de bloques que representa esquemáticamente el diagrama de flujo global del procedimiento para obtener una solución rica en el metal diana; y el DIAGRAMA 3, anexo al presente documento, es un dibujo esquemático de la etapa de lixiviado en pila a contracorriente auténtica.

La presente invención comprende una vía de procesamiento hidrometalúrgico para el tratamiento de menas lateríticas de níquel, en la que la etapa de solubilización de los metales valiosos se realiza mediante lixiviado en pila.

40 El DIAGRAMA 2, anexo al presente documento, es una representación esquemática del diagrama de flujo global del procedimiento para obtener una solución rica en el metal diana. En general, la vía completa comprende las etapas de trituración (I), aglomeración (II), apilamiento (III), y lixiviado en pila (IV).

45 El mineral tal como sale de la mina, ROM [*run of mine*] (O), se tritura para que tenga un tamaño del grano adecuado para el procedimiento. La trituración se lleva a cabo con las etapas que sean necesarias para conseguir el tamaño del grano adecuado para el procedimiento, dependiendo de las características de la mena. Se obtiene un tamaño del grano máximo entre aproximadamente 25,0 mm y aproximadamente 50,0 mm en una trituración secundaria, y un tamaño del grano máximo entre aproximadamente 12,5 mm y aproximadamente 6,30 mm en una trituración terciaria. En el caso de menas más compactas y más competentes, se puede usar una trituración cuaternaria para proporcionar una mayor superficie de reacción. En estas operaciones unitarias se debe minimizar la generación de finos.

50 La FIGURA 1, anexa al presente documento, ilustra un tipo de mena de porosidad elevada, que facilita la accesibilidad del agente de lixiviado.

55 A continuación, el producto triturado se envía a la unidad de aglomeración (II) mediante una cinta transportadora. Si es necesario, se puede añadir agua a la mena durante el transporte, por ejemplo en los casos en que la mena esté muy seca y contenga una elevada cantidad de material fino. La adición de agua a la cinta transportadora se puede llevar a cabo de diferentes formas, tal como pulverización, y minimiza la formación de polvo, haciendo de esta forma que las condiciones de trabajo sean más favorables. Adicionalmente, y esto es muy importante, minimiza la pérdida

de níquel, ya que la concentración de este elemento en las fracciones más finas es una característica de las menas lateríticas. La aglomeración se lleva a cabo con equipo convencional, tal como tambores o discos giratorios, o incluso un equipo que proporcione el resultado esperado.

5 En esta etapa, ácido sulfúrico, tanto concentrado como en solución, y agua se añaden a la mena en cantidades que se definen de acuerdo con la cantidad de material fino presente (que puede ser un 30-70 % inferior a 0,074 mm), donde el ácido y el agua se añaden en dosificaciones que son suficientes para producir la cantidad deseada de humedad de aglomeración. La humedad de aglomeración se ha determinado anteriormente, en pruebas de laboratorio, y depende de las características físicas y mineralógicas de la mena. Debido a la fracción ultrafina presente se puede añadir un agente aglomerante, que puede ser orgánico o inorgánico, natural o sintético, o incluso de origen mineral, como bentonita, por ejemplo, siempre que dicho agente sea inerte para el ácido de la solución de lixiviado. En el producto aglomerado no debería existir material fino, lo que significa cualquier fracción de la mena menor de 1,70 mm.

15 Merece la pena resaltar que las menas que tienen basicidad natural debido a la alta proporción de constituyentes básicos, tales como MgO o CaO, tienen una elevada capacidad neutralizante, y este es el caso de las menas saprolíticas. Por lo tanto, además de las ventajas ya bien conocidas de la aglomeración, esta etapa también es importante en la ruta propuesta, como etapa de neutralización previa de la mena. La cantidad de ácido sulfúrico a añadir se define teniendo en cuenta las principales especies consumidoras de ácido en la granulometría del procedimiento. Esta acción neutralizante en esta etapa acelera el comienzo de la extracción de los metales diana. Cuando no se realiza adición de ácido en esta etapa y la aglomeración se lleva a cabo exclusivamente con agua, con presencia o no de agentes aglutinantes, se observa un retraso en la extracción de los metales diana, especialmente de níquel y cobalto, aunque no se observa un impacto significativo sobre el ciclo de lixiviado total. Normalmente, magnesio, hierro, aluminio, y calcio son las principales especies consumidoras de ácido.

Después de aglomerar (II), la mena se apila (III), formando pilas cuya altura final está comprendida entre 2 m y 7 m, preferiblemente 4 metros.

25 El sistema de lixiviado (IV) propuesto se lleva a cabo en pilas dinámicas (o de tipo on-off), contracorriente, multietapa, donde el número de etapas es 2 o más, preferiblemente 3 etapas. El sistema descrito en el presente documento sigue la conceptualización presentada por Foust y col en *Principles of Unit Operations*, ya mencionado en la descripción del estado de la técnica. Como se trata de una operación unitaria de lixiviado, las dos fases comprenden la mena (soluto) cuyo contenido en metales valiosos (concretamente Ni y Co) se va a extraer, y la solución de ácido sulfúrico (disolvente). Las dos fases se alimentan por los extremos opuestos de una serie de etapas de equilibrio, y fluyen en direcciones opuestas entre sí. Con esta técnica se obtienen concentraciones mayores de Ni y Co en el producto de la fase líquida, así como un ciclo de lixiviado más corto, y se usa una cantidad menor de disolvente, comparada con los flujos de circuito en corriente simultánea o flujo paralelo.

35 La nueva solución de lixiviado -una solución de ácido sulfúrico que varía de aproximadamente 50 g/l a aproximadamente 200 g/l- se aplica a la superficie superior o exterior de la pila de la última etapa, o de la etapa 3 en el caso de un sistema de tres etapas, y las soluciones percoladas de cada etapa se recogen por separado, en depósitos individuales, y se usan en la siguiente etapa de acuerdo con la dirección de flujo.

Las soluciones de las etapas 2 y 3 se designan como la solución intermedia 2 (ILS2) y la solución intermedia 3 (ILS3) respectivamente, y así sucesivamente.

40 La solución final que contiene los metales diana -la solución de lixiviado madre (PLS)- tiene una acidez residual entre aproximadamente 10 y aproximadamente 30 g/l.

45 Al final del procedimiento de lixiviado (IV), en la última etapa, o de la etapa 3 en el caso de un sistema de 3 etapas, la mena se lava bien con agua nueva o agua de proceso. Después del lavado, la mena lixiviada se transporta a una zona previamente impermeabilizada y preparada para deposición final de los residuos del lixiviado. Es importante comprender que, ya que se trata de un procedimiento continuo, tan pronto como el lixiviado de la mena se detiene en la última etapa, o en la etapa 3 por ejemplo, la mena que estaba en la etapa 2 pasa a la etapa 3, y la que estaba en la etapa 1 pasa a la etapa 2, y una nueva sección (o pila) se introduce en la etapa 1.

50 El procedimiento de lixiviado en pila, que es el objetivo de la presente invención, se puede aplicar a menas que contienen grandes cantidades de material fino natural, y es también una opción para el tratamiento de fracciones de grano grueso (por ejemplo, un tamaño del grano superior a 0,5 mm). En este último caso, la fracción de grano fino se sometería al tratamiento convencional en un autoclave a presión alta, o a lixiviado atmosférico, o a una combinación de los dos procedimientos de lixiviado.

55 La invención también tiene en cuenta el producto final que contiene níquel, cobalto, y otros metales procedentes de menas de laterita, obtenidos mediante un procedimiento de lixiviado en pila (IV), o la solución obtenida con los metales diana (PLS) obtenida en el procedimiento de acuerdo con la invención, ya notificado.

Se han evaluado diferentes alternativas para el tratamiento de la solución de lixiviado madre (PLS), la solución efluente de la etapa 1 -por ejemplo, producción de precipitado mixto, o verticalización del procedimiento hasta la

producción de níquel metálico.

La solución de lixiviado madre se somete a extracción del hierro y el aluminio presentes, mediante precipitación escalonada con la adición de un reactivo alcalino. A continuación, la solución exenta de hierro y de aluminio, o al menos que contiene niveles aceptables de los mismos, se envía a la etapa de extracción de níquel y cobalto (6), que se pueden extraer o recuperar mediante varias técnicas, tales como precipitación, extracción con disolventes, o incluso intercambio iónico. Con la extracción con disolventes, o una resina de intercambio iónico, se obtiene níquel metálico; con precipitación, se produce un hidróxido o sulfuro mixto de níquel, cobalto, cinc, y otros metales básicos.

La presente solicitud hace referencia a determinadas condiciones de funcionamiento, tales como la altura de la pila, el tamaño del grano de la mena, y la concentración de ácido sulfúrico entre otras, sin limitar su exclusividad, y destacando que estas condiciones pueden variar en cada una de las etapas de lixiviado en pila sin afectar negativamente el resultado final del procedimiento.

Aunque se ha descrito e ilustrado un procedimiento operativo preferido, se destaca que son posibles, y se pueden ejecutar, alteraciones de dicho procedimiento, sin separarse del alcance de la presente invención.

Ejemplo 1

Para evaluar la aplicabilidad del lixiviado en pila a una fracción de rechazo (> 0,5 mm) procedente del beneficio de una mena de laterita por la vía HPAL/lixiviado atmosférico, se compusieron tres mezclas cuyo análisis químico se presenta en la TABLA 3 siguiente, y que se sometieron a pruebas en columnas de 1 m de altura.

Análisis químico de las muestras del alimento

TABLA 3

Descripción	Al (%)	Co(%)	Cr(%)	Cu(%)	Fe (%)	Mg(%)	Mn(%)	Ni (%)	Si (%)	Ti (%)	Zn(%)
Muestra 1	0,83	0,03	0,58	0,02	9,65	1,55	0,21	0,31	33,65	0,05	0,02
Muestra 2	0,72	0,03	0,67	0,03	8,54	9,52	0,11	0,46	25,10	0,03	0,03
Muestra 3	2,37	0,09	0,78	0,06	10,20	6,42	0,37	1,36	24,70	0,24	0,05

El GRÁFICO 1, anexo al presente documento, muestra la distribución del níquel en estas muestras. El níquel se encuentra principalmente en los filosilicatos (serpentinás y cloritas).

Se determinó que el 100 % del tamaño de las muestras era inferior a 1,27 mm. Las distribuciones de tamaño del grano se muestran en el GRÁFICO 2 anexo al presente documento. El resto de condiciones para la realización de estos ensayos fueron las siguientes: velocidades de percolación de 10 l/h/m²; concentración de ácido sulfúrico en la solución de lixiviado, 20 g/l; dosificación de ácido en la aglomeración, 20 kg/tonelada de mena; ensayos en circuito abierto.

Estos ensayos preliminares indican el potencial para la extracción de níquel mediante una operación unitaria de lixiviado en pila. Sin embargo, las curvas de extracción de níquel del GRÁFICO 3, anexo al presente documento, muestran que el sistema necesita más ácido, por ejemplo, mediante una solución de lixiviado a mayor concentración. La baja concentración de ácido puede ser un factor de una cinética lenta. En 100 días de funcionamiento, las muestras 1, 2 y 3 alcanzaron el 34 %, 58 % y 69 % de la extracción de níquel, respectivamente.

Ejemplo 2

Los ensayos se llevaron a cabo en columnas de 1 m de altura, y también en columnas de 4 m de altura para realizar una evaluación preliminar de la influencia de la altura sobre la extracción de níquel. Estos ensayos se llevaron a cabo en muestras con cuatro litologías diferentes, y también en una muestra compuesta a partir de los litotipos individuales. Todas las muestras se trituraron hasta obtener un tamaño de grano que era en un 100 % inferior a 12,5 mm. La velocidad de percolación fue constante e igual a 10 l/h/m². La concentración de ácido sulfúrico en la solución de lixiviado fue de 20 a 200 g/l en las columnas de 1 metro de altura, y de 50 g/l en las columnas de 4 metros de altura.

Las curvas de extracción de níquel para los diferentes tipos de minerales, en condiciones de acidez diferentes, confirmaron la influencia de estas variables sobre el procedimiento. Valores de acidez más elevados conducen a una cinética más rápida.

La extracción de níquel varió de acuerdo con la mineralogía. La mineralogía que fue menos sensible al procesamiento, y de este modo proporcionó los menores niveles de extracción de níquel, fue la que tenía una cantidad significativa de níquel en los hidróxidos de hierro. Este nivel de sensibilidad se entiende en términos de la forma de presentación del Ni, que en la estructura cristalina del hidróxido de hierro requiere más energía en el

sistema para superar la elevada energía de enlace de dichos hidróxidos. Los átomos de Ni son menos accesibles a la solución de lixiviado.

5 El GRÁFICO 4 (extracción de níquel de una mena saprolítica) y el GRÁFICO 5 (extracción de níquel de una mena ferruginosa o limonítica), anexos al presente documento, muestran las curvas de extracción para los ensayos realizados en columnas de 1 m de altura, para dos de los tipos de mena evaluados.

10 Los ensayos realizados en columnas en miniatura permitieron evaluar la extracción máxima posible esperada de níquel conseguida. Como todos los tipos alcanzaron la estabilización en 100 ciclo-días, este tiempo se consideró la el ciclo total, y la concentración de ácido se varió cada 20 días, de 20 a 200 g/l y después de 200 a 20 g/l. La influencia de la concentración de ácido sobre el procedimiento se volvió a confirmar. En ensayos realizados con valores de acidez crecientes, se observó que la inflexión de la curva había aumentado. En ensayos realizados con valores de acidez decrecientes, se observó que el efecto no era significativo.

15 En estos ensayos, se han identificado tres etapas principales en el procedimiento de lixiviación en evaluación, lixiviación primaria, y lixiviación secundaria, como se muestran en el GRÁFICO 6 (etapas de lixiviado) anexo al presente documento. En la última etapa, las reacciones principales implican los minerales que solubilizan con facilidad, especialmente las especies que contienen magnesio, y por tanto se ha identificado esta etapa como una neutralización. Existen tres cinéticas diferentes, dependiendo de cómo se ha distribuido el níquel entre los minerales: el Ni absorbido entre las placas (entre placas) de filosilicatos se extrae con más facilidad que el níquel de la estructura (intra-placa) de los mismos minerales, que a su vez proporcionan mayor extracción que el níquel contenido en hidróxidos de hierro.

20 Este comportamiento de las diferentes zonas de lixiviado indica la importancia de evaluar el circuito de acuerdo con el principio contracorriente.

El GRÁFICO 7, anexo al presente documento, muestra las curvas de extracción de níquel obtenidas para las cuatro tipologías, para los ensayos en columnas de 4 m de altura.

Ejemplo 3

25 Se evaluaron tres opciones diferentes de circuito de lixiviado, cuyas curvas de extracción se presentan en el GRÁFICO 8 anexo al presente documento: circuito abierto, circuito contracorriente con tres etapas (circuito con ILS) y circuito con recirculación de PLS y corrección de la concentración de ácido.

30 En el circuito ILS, se consideró un ciclo total de 150 días con 3 etapas de 50 días cada una. El circuito contracorriente (ILS) se constituye por sí mismo como la mejor alternativa para las menas evaluadas, acortando sustancialmente el ciclo de lixiviado y disminuyendo el volumen total de solución, así como el consumo de ácido, como se muestra en la TABLA 4 siguiente:

TABLA 4

Tipo de circuito	Ciclo de lixiviado (días)	Extracción Ni (%)	Extracción Co (%)	Consumo de H ₂ SO ₄ (kg/tonelada de mena)
ILS	150	84	70	280
Abierto	270	87	72	560
Con recirculación y corrección de acidez	270	84	70	250

Ejemplo 4

35 Se realizaron ensayos con la misma muestra, en columnas de 4 m de altura, para evaluar la influencia del tamaño del grano sobre la extracción de níquel. El resto de condiciones de procedimiento, tal como la concentración de la solución de lixiviado, velocidad de percolación, condiciones de aglomeración, se mantuvieron constantes. Se observó que, para muestras muy porosas además de los materiales finos presentes de manera natural en la mena, no existe un impacto significativo sobre la extracción de níquel desde un tamaño superior de 12,5 mm o 50,0 mm, tal como se muestra en el GRÁFICO 9 (evaluación de la influencia del tamaño del grano sobre la extracción de níquel) anexo al presente documento.

40

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila, **caracterizado por** que comprende una trituración (I) que obtiene un tamaño del grano máximo de entre aproximadamente 25,0 mm y aproximadamente 50,0 mm en una trituración secundaria, y un tamaño del grano máximo entre aproximadamente 12,5 mm y aproximadamente 6,30 mm en etapas de trituración terciaria, aglomeración (II), apilamiento (III) y lixiviado en pila (IV), siendo esta última etapa un sistema de lixiviado en pila continuo en contracorriente con dos o más etapas, que presenta dos fases, una de las cuales está compuesta por la mena (soluto) y la otra compuesta por la solución de lixiviado, o disolvente, que se suministran en extremos opuestos de la serie de etapas y fluyen en direcciones opuestas hasta que, al finalizar el lixiviado en la última etapa, su soluto se retira y se introduce una nueva etapa en la primera posición que comprende mena nueva (soluto) a lixiviar mediante la solución disolvente que se introduce desde la última etapa, percolando o fluyendo a través de todas las etapas anteriores hasta que alcanza la primera etapa, que se separa si está cargada con metales diana (PLS).
- 15 2. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado por** el hecho de que la trituración (I) se puede llevar a cabo con tantas etapas como sean necesarias para conseguir el tamaño del grano adecuado para el procedimiento.
3. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado por** el hecho de que, opcionalmente, se puede añadir agua al producto triturado antes de enviarse a la etapa de aglomeración (II).
- 20 4. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado por** el hecho de que, durante la etapa de aglomeración (II), hay adición de agua y, de manera opcional, de ácido u otros aditivos, tales como agentes aglutinantes, entre otros.
- 25 5. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 4 **caracterizado por** el hecho de que el ácido sulfúrico, concentrado o en solución, y el agua se añaden en dosificaciones que son suficientes para conseguir la humedad de aglomeración.
6. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 4 **caracterizado por** el hecho de que el agente aglutinante puede ser orgánico o inorgánico, natural o sintético, o incluso de origen mineral, tal como bentonita.
- 30 7. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con cualquiera de la reivindicación 1 o la reivindicación 4, **caracterizado por** el hecho de que en el producto aglomerado no están presentes finos libres que afecte negativamente al proceso de percolación.
8. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado por** el hecho de que las pilas son preferiblemente del tipo dinámico u "on-off".
- 35 9. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con cualquiera de la reivindicación 1 o la reivindicación 8, **caracterizado por** el hecho de que la mena (III) apilada constituye pilas con alturas comprendidas entre aproximadamente 2 m y aproximadamente 7 m.
- 40 10. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado por** el hecho de que el sistema de lixiviado en pila (IV) comprende tres etapas.
11. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado por** el hecho de que la nueva solución de lixiviado comprende solución de ácido sulfúrico.
- 45 12. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 11 **caracterizado por** el hecho de que su concentración está comprendida entre 50 g/l y 200 g/l.
13. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado por** el hecho de que la nueva solución de lixiviado se introduce en la cara superior, o en la parte superior, de la última etapa.
- 50 14. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado por** el hecho de que las soluciones percoladas de cada etapa (ILS) se recogen por separado y se usan en la siguiente etapa, de acuerdo con la dirección de flujo.
15. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado por** el hecho de que la solución de lixiviado madre

(PLS) tiene una acidez residual de entre aproximadamente 10 g/l y aproximadamente 30 g/l.

5 16. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado por** el hecho de que al final del proceso de lixiviado en la última etapa, la mena lixiviada se lava bien con agua nueva o con agua de proceso, y a continuación se considera como residuo.

17. Procedimiento para la extracción de níquel, cobalto y otros metales a partir de menas de laterita mediante lixiviado en pila de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado por** el hecho de que la solución obtenida con metales (PLS) se puede someter a un proceso posterior para separar metales tales como níquel, cobalto, cinc, aluminio y hierro, entre otros.

10

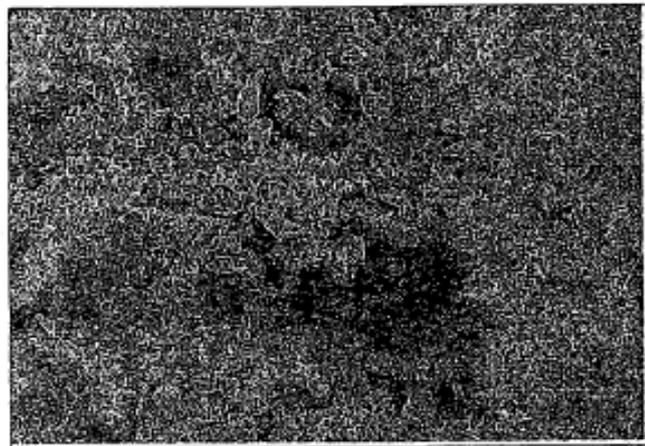


FIGURA 1

DIAGRAMA 2

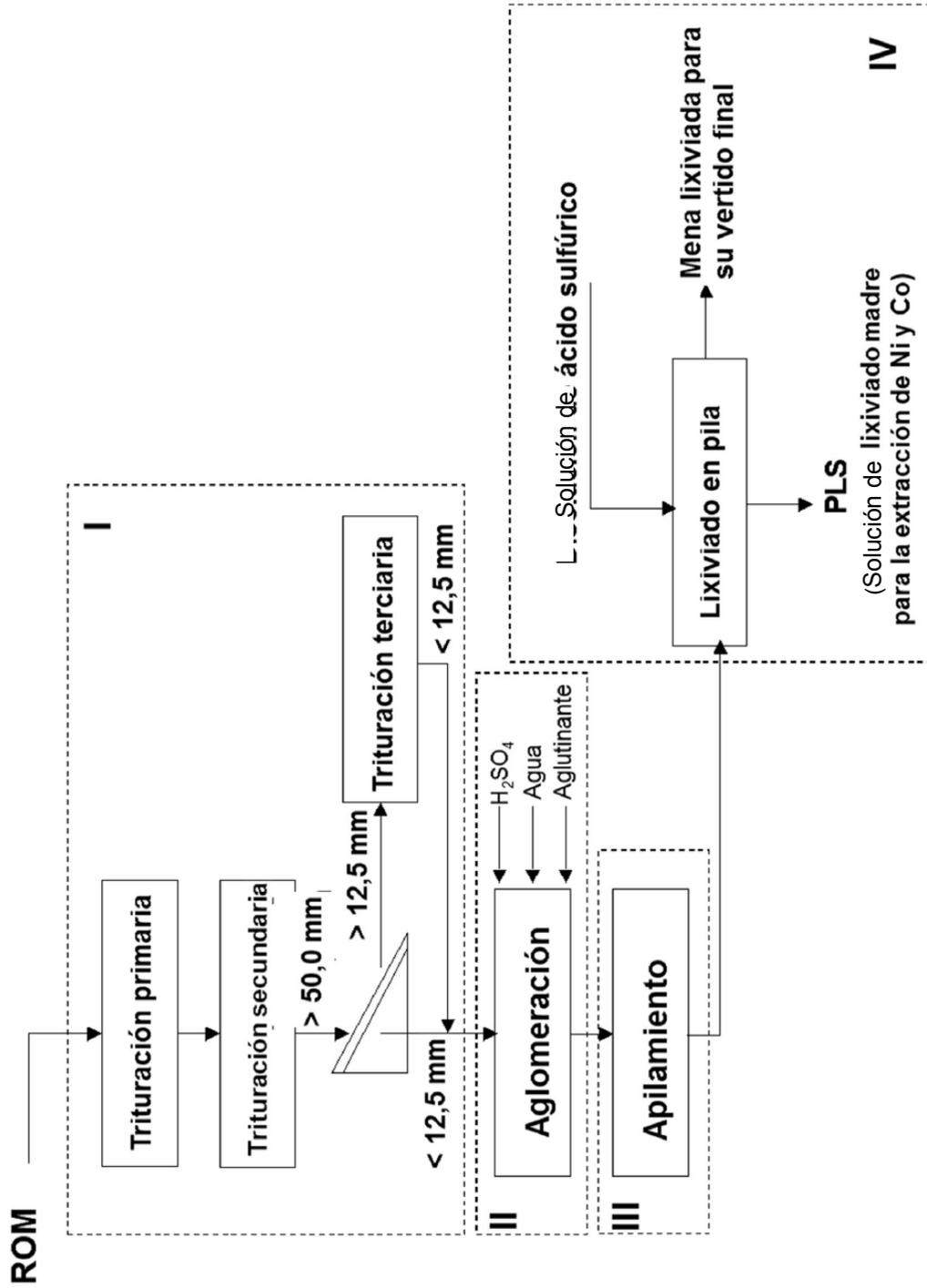


DIAGRAMA 3

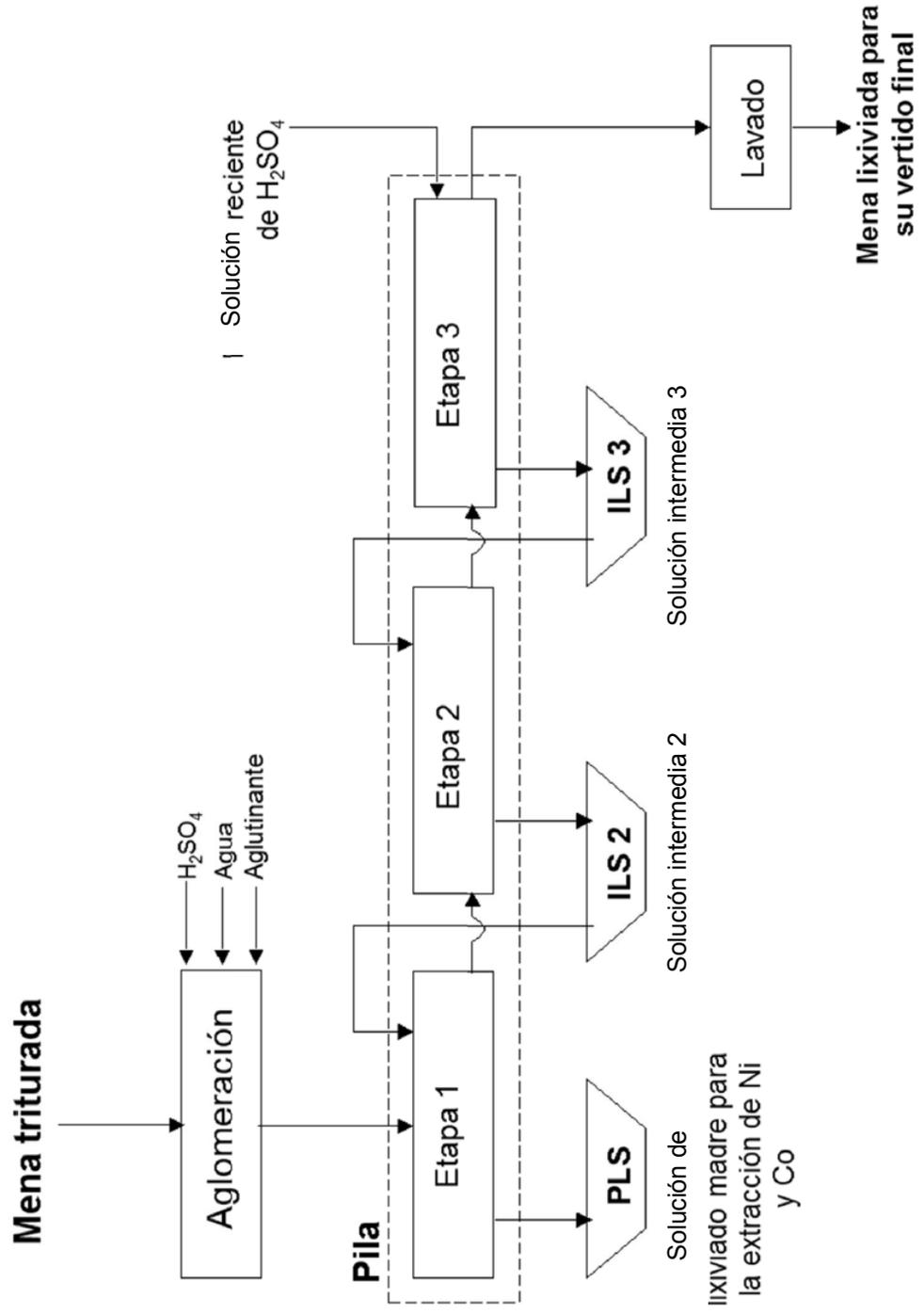


GRÁFICO 1.

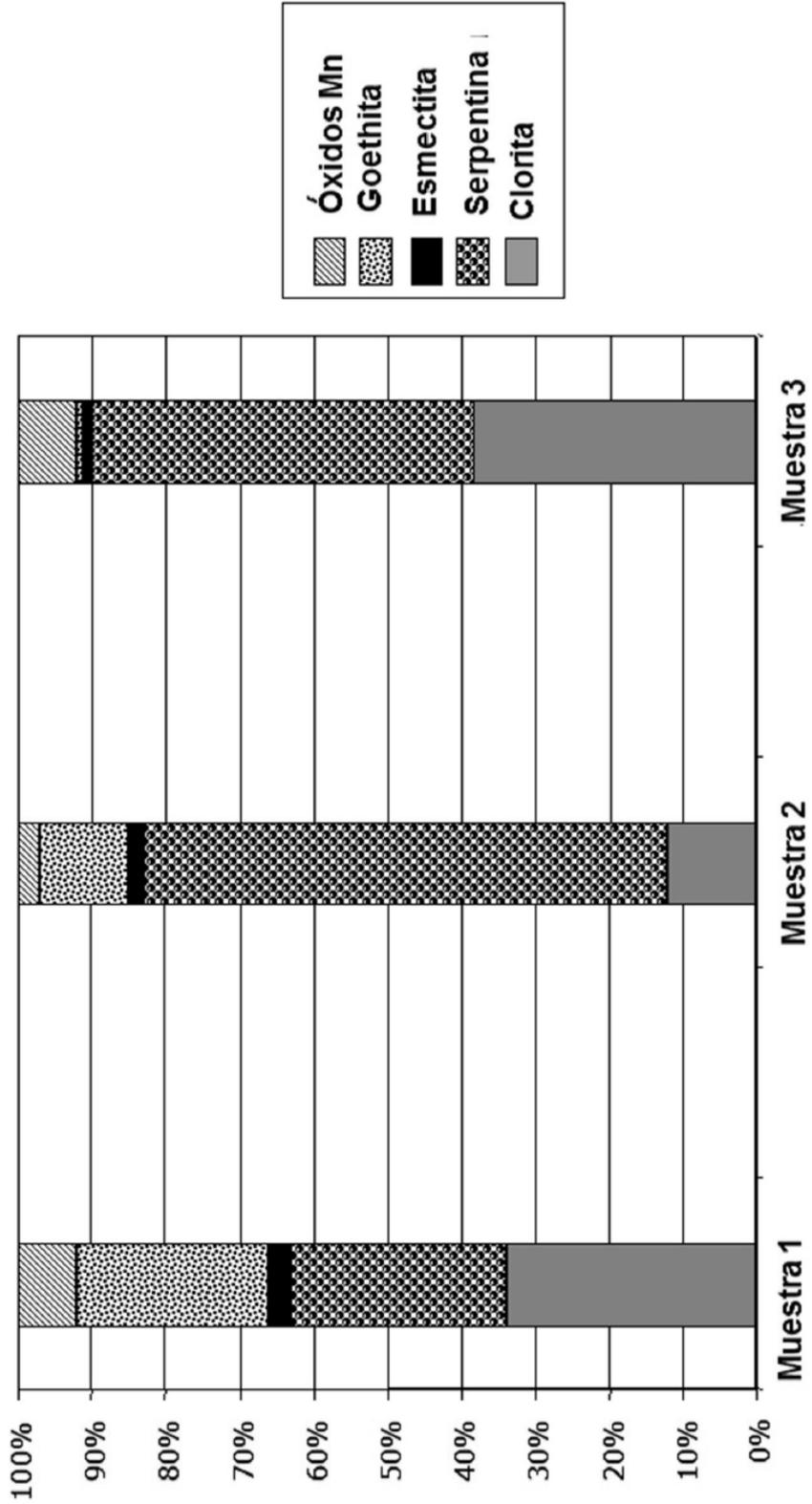


GRÁFICO 2

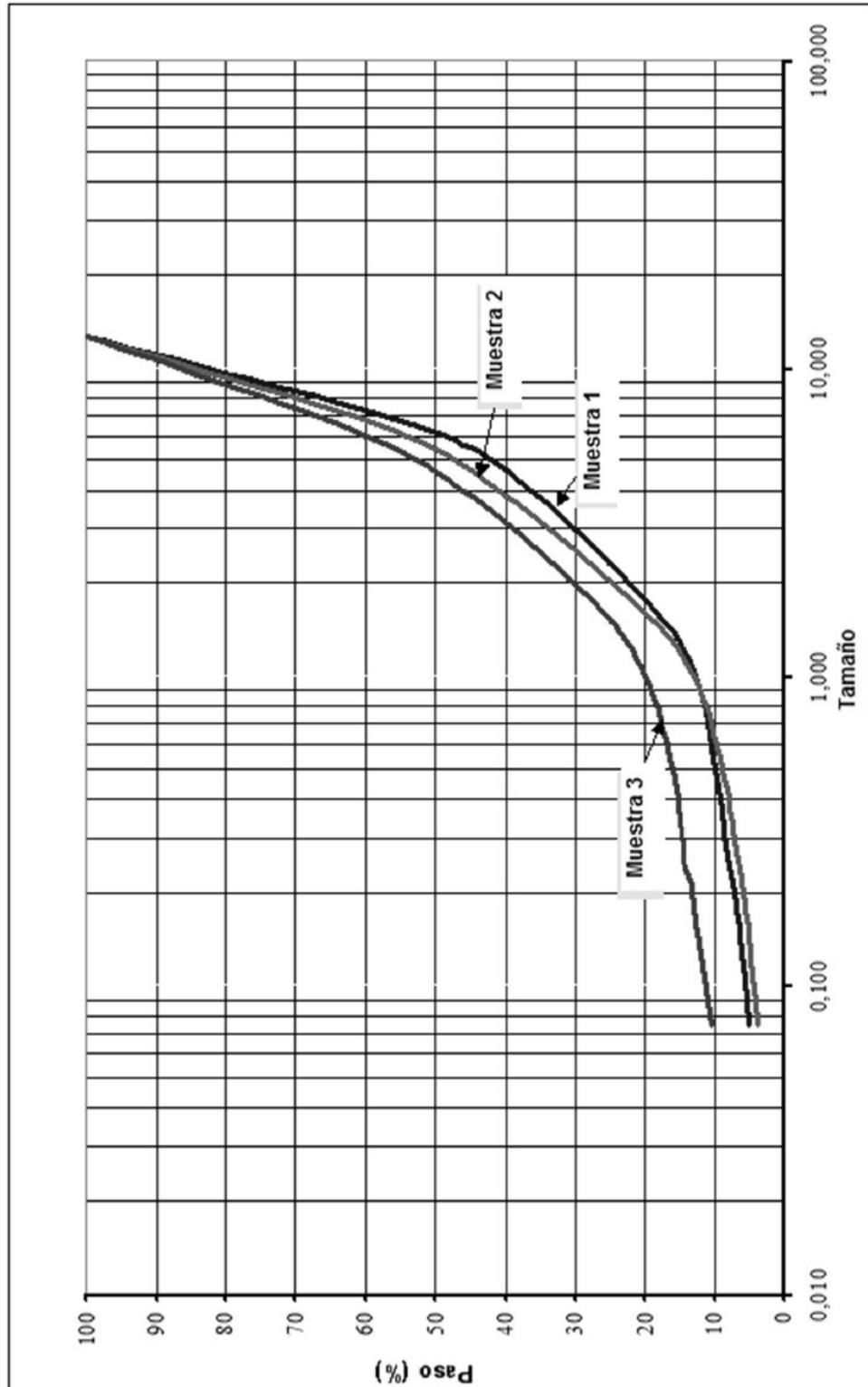


GRÁFICO 3

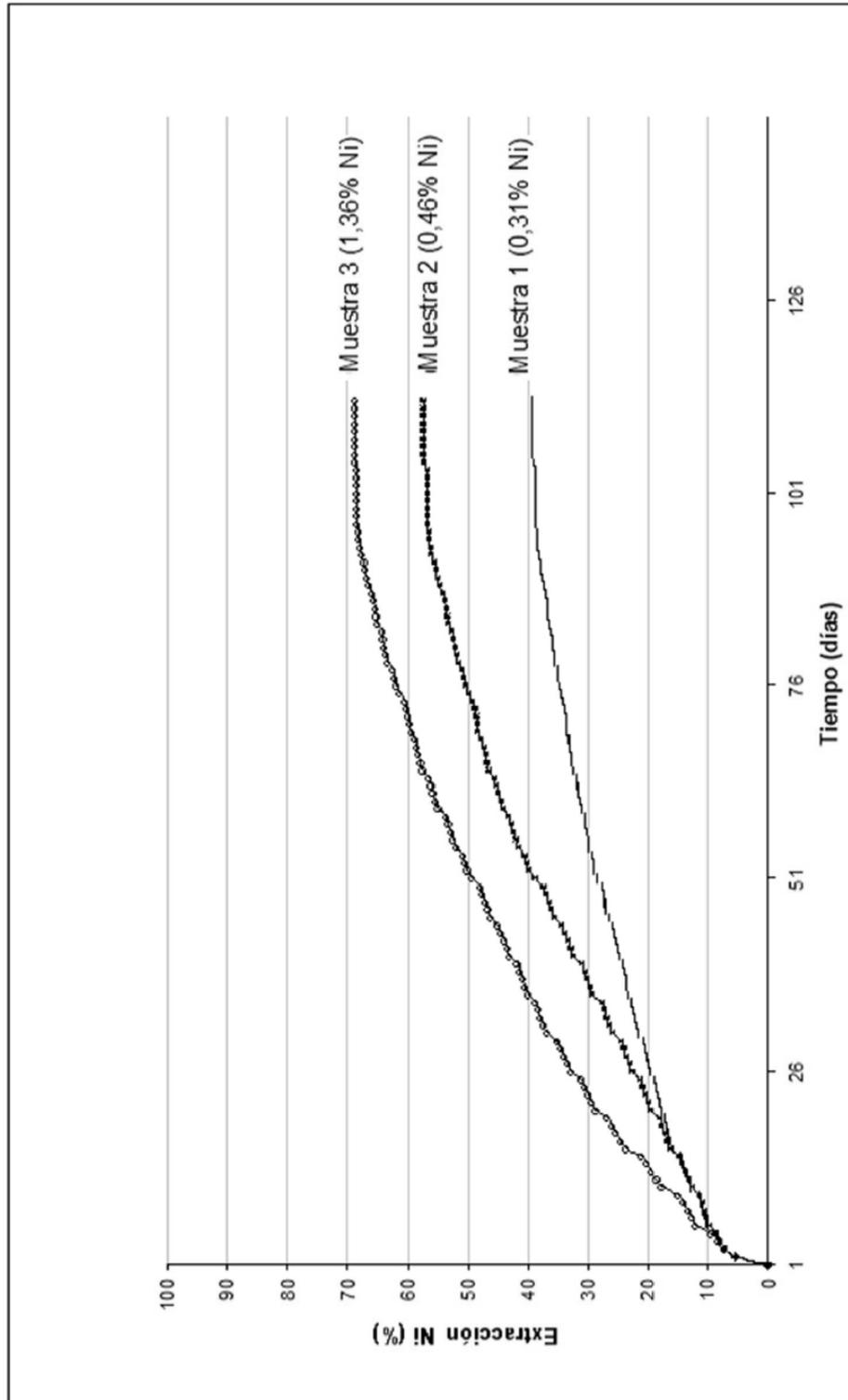


GRÁFICO 4

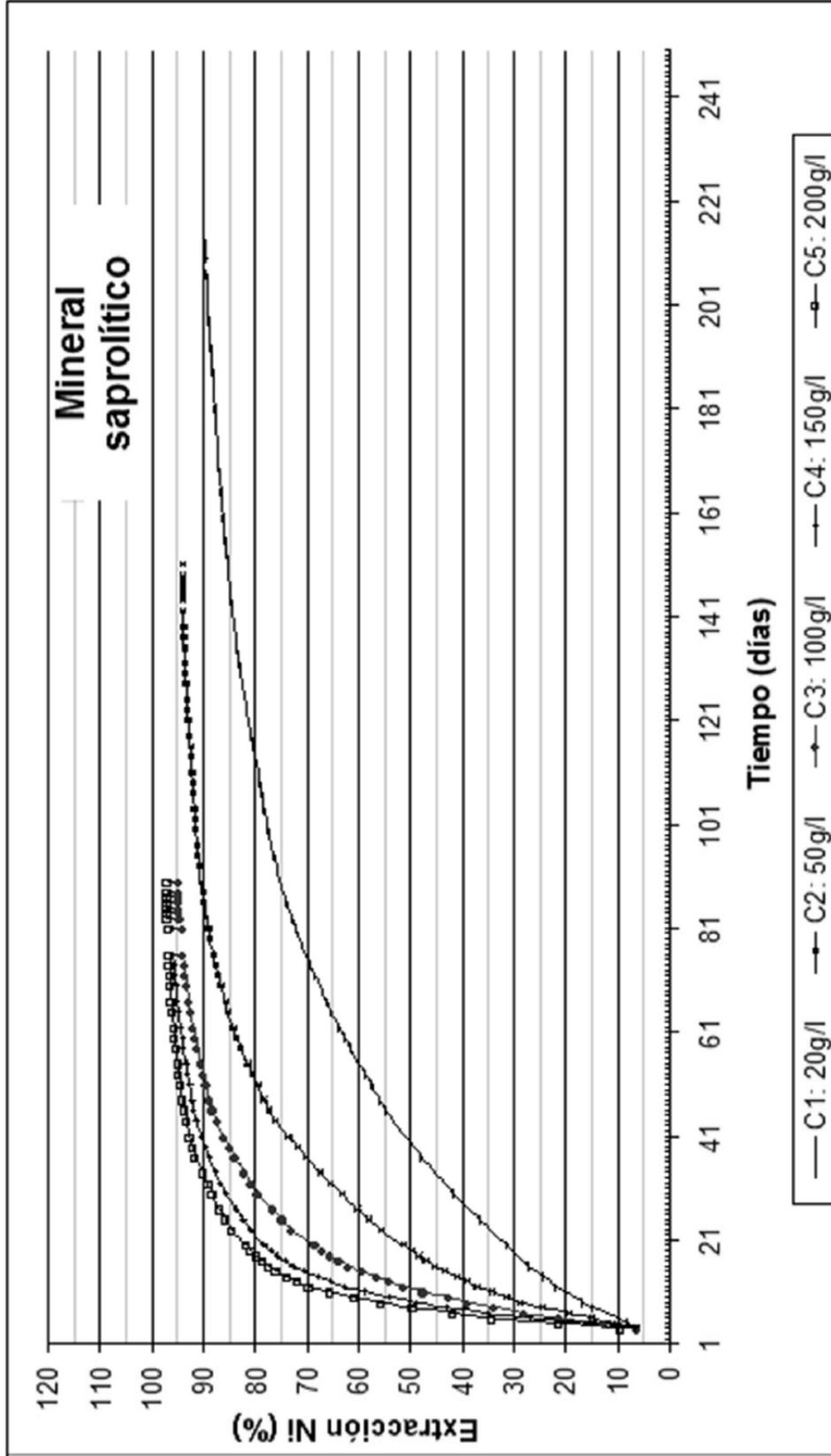


GRÁFICO 5

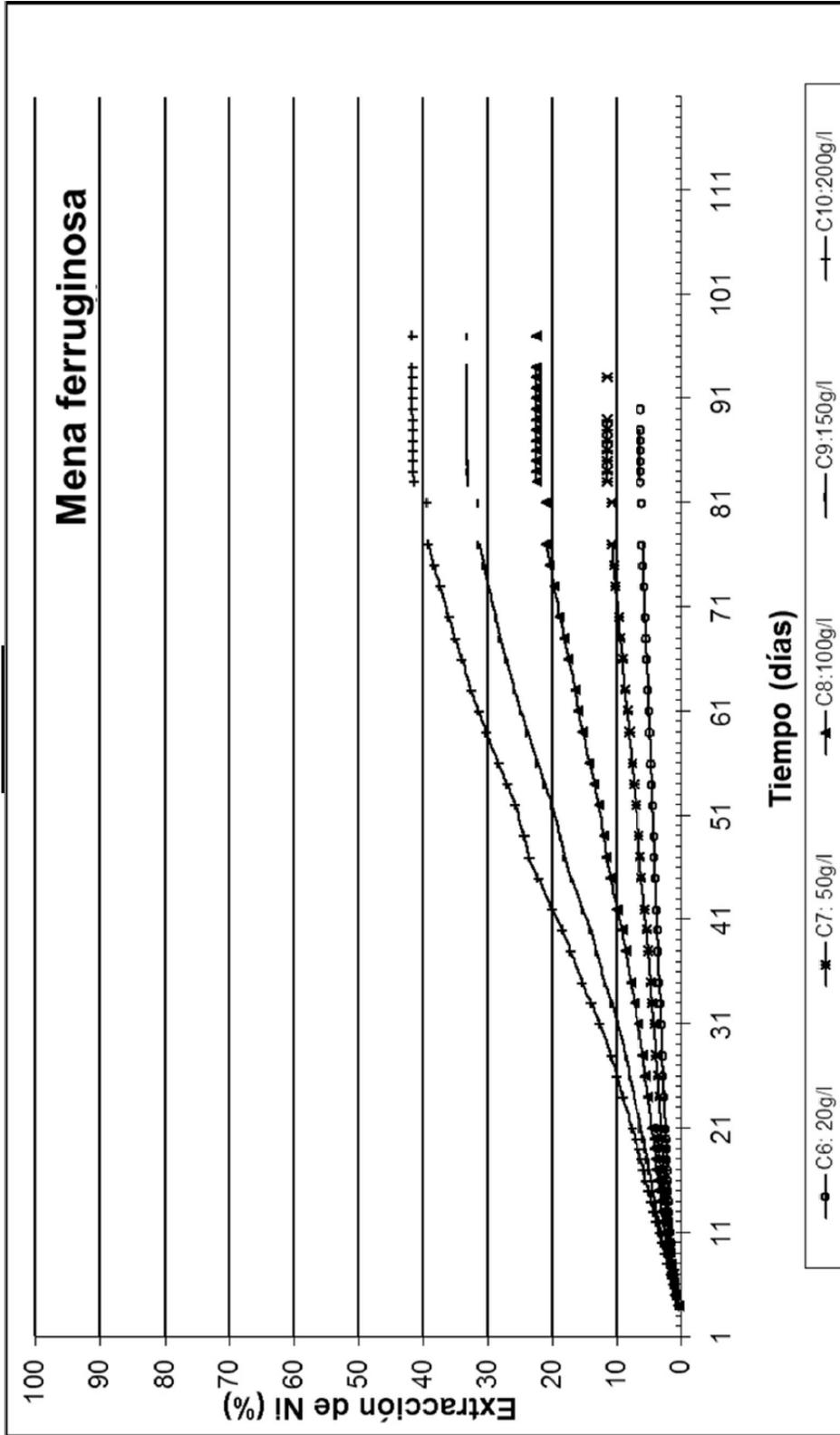


Gráfico 6

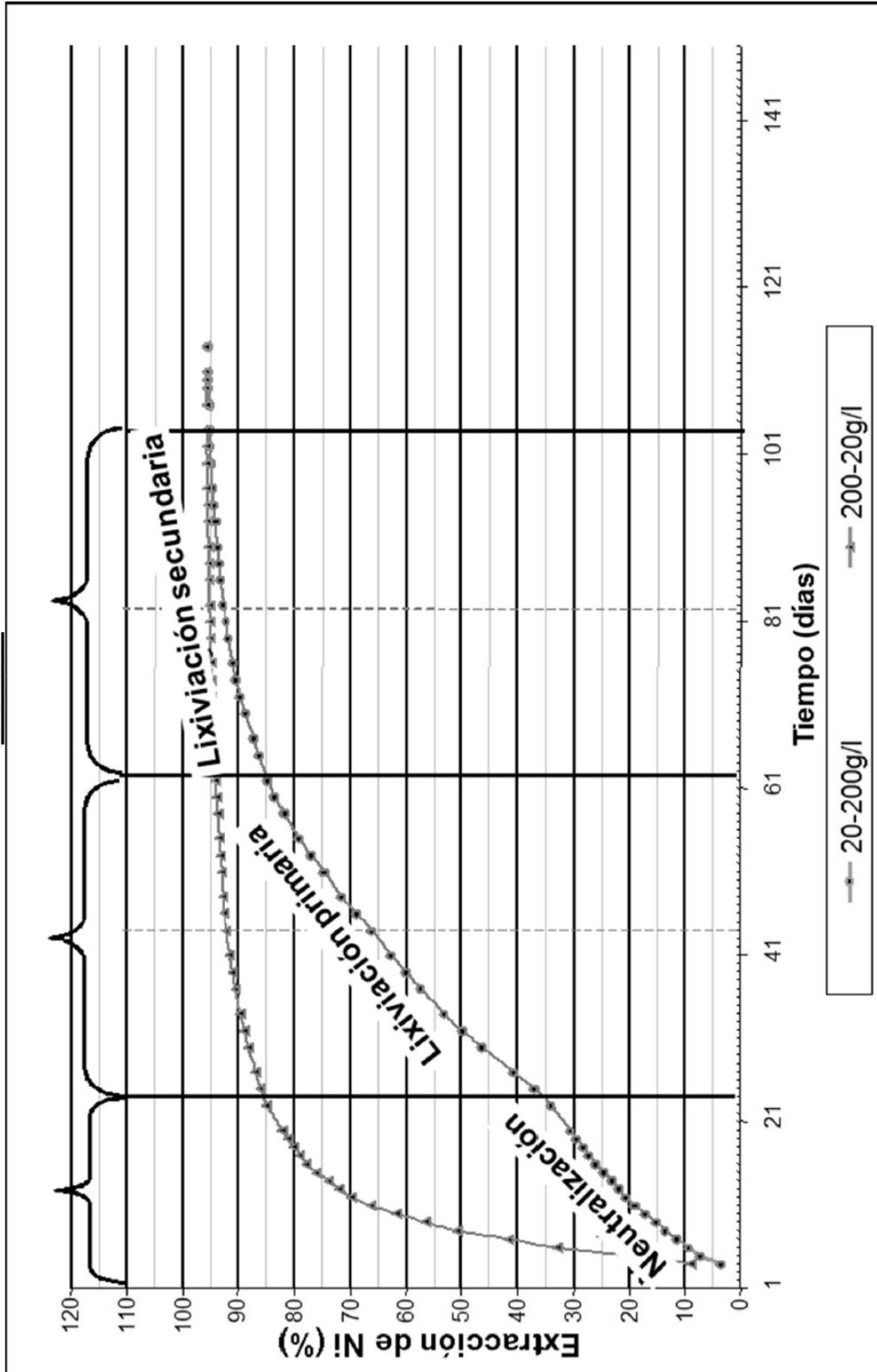


GRÁFICO 7

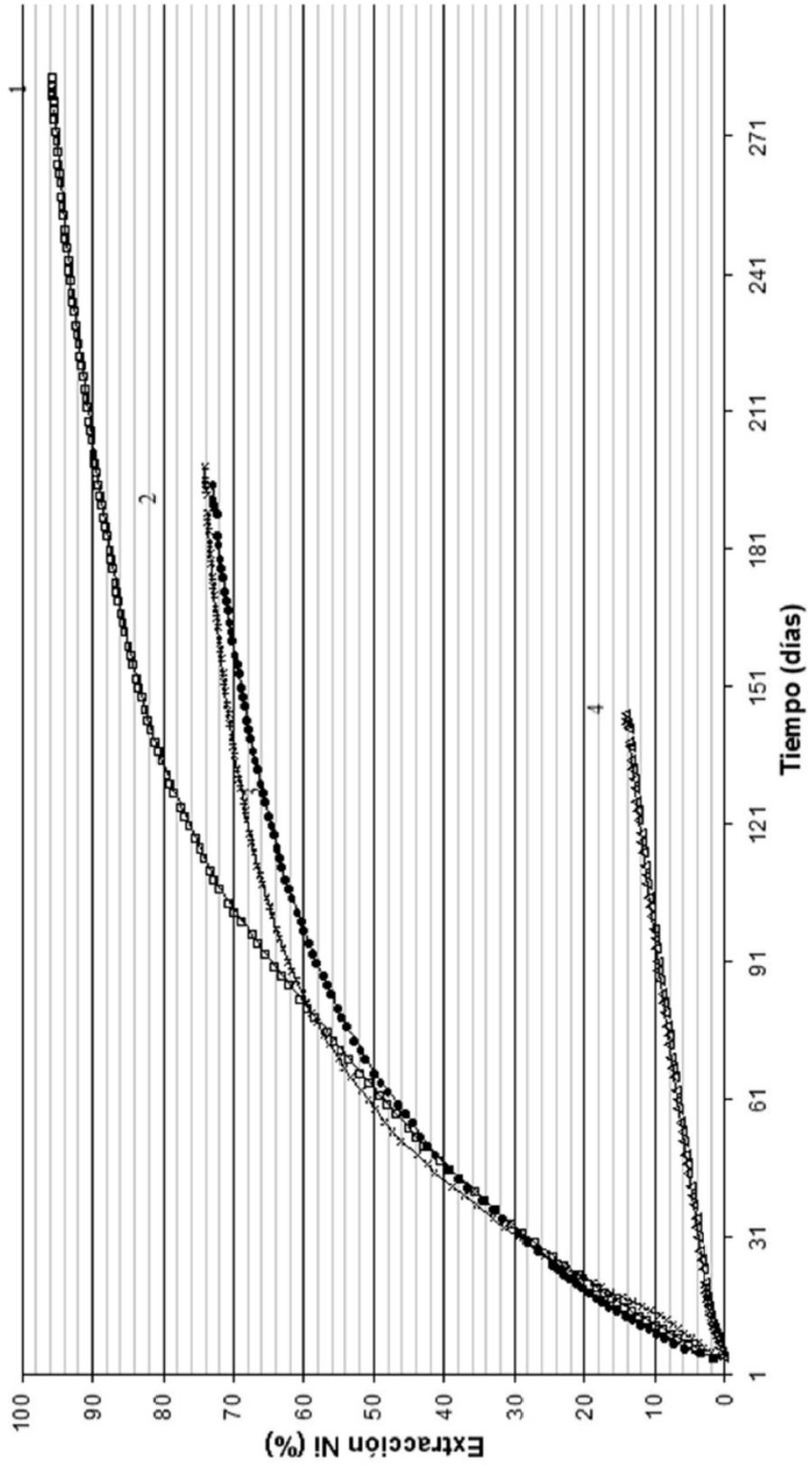


GRÁFICO 8

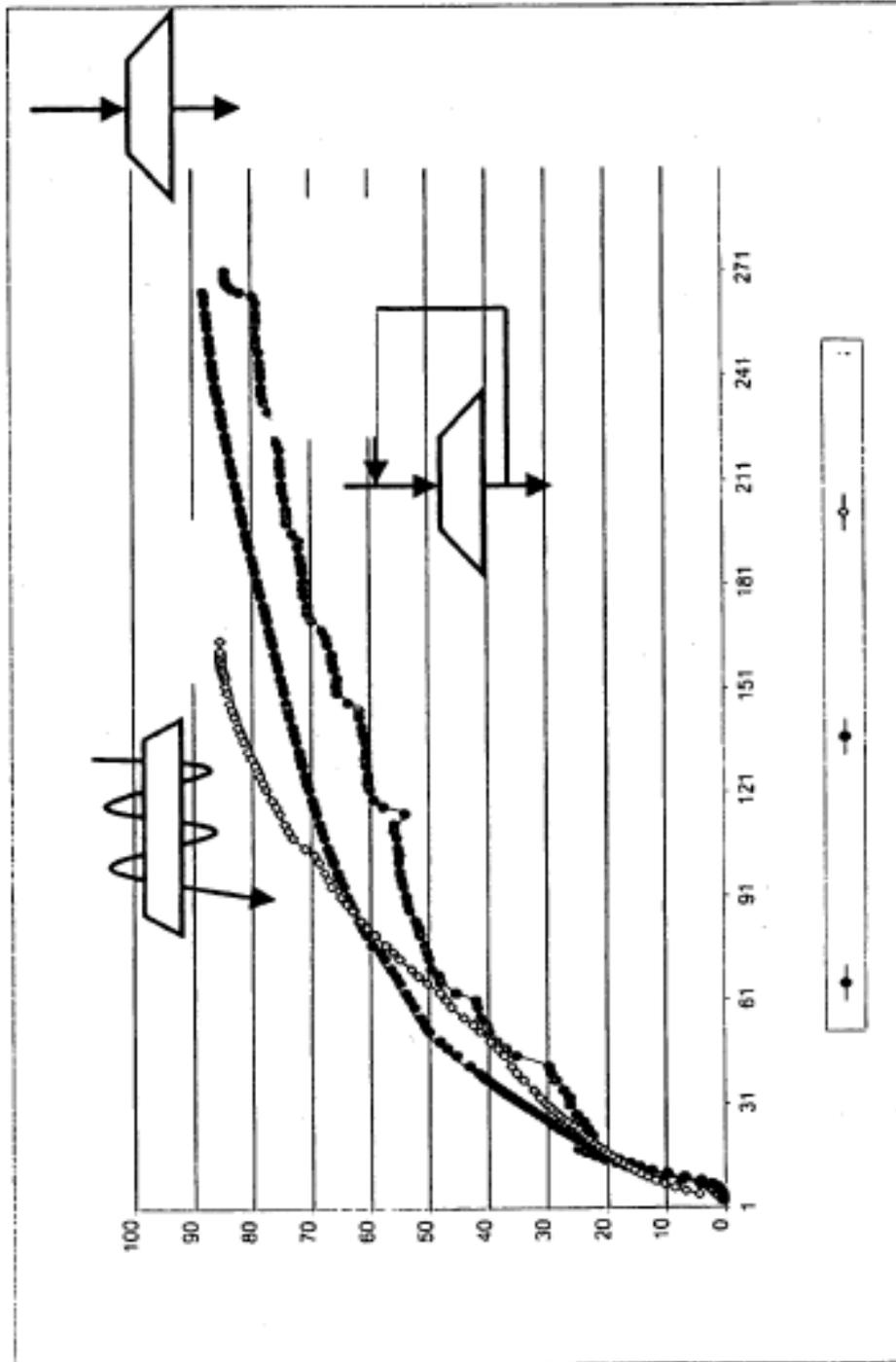


GRÁFICO 9

