

PROCESAMIENTO DE MENAS DE LATERITA

Antecedentes de la Invención

Las menas de níquel se encuentran naturalmente en forma de sulfuros, y en forma de óxido como lateritas. Las lateritas además pueden subdividirse en dos categorías, limonitas que por lo general tienen una ley de níquel y magnesio menor, y mayor concentración de hierro y cobalto; y los saprolitos que tienen una más alta ley de níquel y magnesio, pero menos cobalto.

La estructura geológica de las lateritas resulta del desgaste, y es típicamente una capa de limonita, que se superpone al saprolito. Los horizontes en el cuerpo de la mena suelen no ser regulares.

El procesamiento de las limonitas de menor ley que contienen níquel y cobalto generalmente se realiza a través de tecnologías de lixiviación, ya sea a alta temperatura y presión, o más lentamente en pilas. Los saprolitos que contienen principalmente valores de níquel, generalmente consumen demasiado ácido para la lixiviación y, en consecuencia, representan "residuos" en el flujo de alimentación de lixiviación limonítica.

El procesamiento de los saprolitos se realiza usualmente por fundición para formar ferroníquel o mate. La fracción de limonita de la mena es típicamente demasiado baja en ley de níquel para fundirse económicamente, y por lo tanto representa "residuo" en el flujo de alimentación de la fundición. La limonita también contiene cobalto y, en algunos casos, cobre, que puede generar problemas cuando se usa ferroníquel para la producción de acero inoxidable.

Además de la importancia de la ley de níquel en la viabilidad del procesamiento de una mena, el contenido de ganga también puede resultar problemático. Por ejemplo, la fluidez de la fase de escoria formada durante la fundición requiere una carga de alimentación con proporciones específicas de magnesio a silicio.

Las lateritas de níquel son inusuales en la industria de los metales básicos, dado que la mena no se puede beneficiar fácilmente antes del procesamiento (Referencia 1).

Por el contrario, las menas de sulfuro de níquel son típicamente de una ley de níquel similar a las lateritas, pero pueden beneficiarse por flotación, para producir un concentrado de ley mucho más alta que luego se funde.

Esto implica que, junto con el níquel en las lateritas, toda la ganga asociada debe someterse a procesos intensivos de capital y energía, como la fundición o lixiviación a presión. Debido a la gran proporción de ganga en el mineral (generalmente más del 98%), los costos en energía, insumos y transporte del procesamiento de la mena son altos. Por lo tanto, el procesamiento usualmente debe localizarse cerca del cuerpo de mena, en lugar de ubicarse en un sitio más distante donde puedan existir mejores opciones de infraestructura y eliminación de residuos.

Esta restricción que impone la beneficiación limita el uso de los recursos de laterita de níquel razonablemente abundantes, a aquellos que son de una ley suficientemente alta y de larga duración para justificar la importante inversión de capital en equipo de procesamiento e infraestructura. Muchos recursos de laterita conocidos permanecen sin desarrollo, debido a que su ley o tamaño de níquel no puede justificar el alto costo de procesamiento.

Por estas razones, beneficiar el contenido de níquel de la mena laterítica ha sido durante mucho tiempo un deseo del mundo metalúrgico, pero no se ha descubierto una técnica ampliamente aplicable. Esto se debe probablemente a la incorporación del níquel a la matriz de la ganga, a diferencia de muchos otros metales básicos que existen como partículas minerales de alta ley separadas en la masa de ganga. La única técnica beneficiosa que ha obtenido algún éxito comercial para las lateritas es el cribado, que puede en algunos casos utilizarse con el fin de eliminar el sílice de gran tamaño del resto de la laterita de níquel y, por lo tanto, aumentar la ley de níquel (Referencia 2).

El proceso de cribado no es aplicable a todos los tipos de mena, y además es muy difícil de ejecutar con la mena pegajosa que se extrae en la estación húmeda.

Tampoco se pueden extraer de manera selectiva las lateritas de níquel para recuperar sólo las áreas de alta ley, en una escala que sea consistente con los requisitos de una operación comercial. La ley de níquel en las menas de laterita es muy heterogénea. Se requeriría un muestreo exhaustivo para identificar y explotar selectivamente las zonas de mena de alta ley, y entonces la explotación selectiva requeriría de un equipo muy pequeño.

Esta heterogeneidad generalmente no es uniforme a través del cuerpo de mena en ninguna dimensión, incluida la ubicación de la estratificación de limonita/saprolito/roca residual, y tampoco dentro de cada una de las capas de laterita de níquel. Las zonas de alta ley están intercaladas con zonas de baja ley, y no están uniformemente más concentradas cerca de la superficie o la base del cuerpo de mena. Las diferentes leyes de mena tampoco son fácilmente visibles.

El método convencional para estimar la ley de níquel en menas de laterita, y determinar si es adecuada para el procesamiento o si se debe desechar como residuo, está constituido por perforaciones de control de ley. Estas perforaciones recolectan muestras de mena a través de una matriz del cuerpo de mena para el análisis de laboratorio y, dependiendo de los resultados, los geólogos interpolan las leyes y seleccionan y "marcan" la mena y los residuos que se extraerán.

La ley estimada del bloque de mena intermedio es aproximada. En una mena heterogénea como la laterita de níquel, este método de estimación es más proclive al error en las composiciones de níquel, impureza y ganga, que en un cuerpo de mena más consistente.

Si bien la separación óptima entre las perforaciones utilizada para las perforaciones de control de ley de las lateritas de níquel es de alrededor de 10 a 15 m, y más cerca de lo normal que en la industria de los metales básicos, aún

esta separación es demasiado grande para identificar selectivamente los parches de ley superior de una mena de laterita.

Y aun cuando las perforaciones de control de ley tuviesen muy poca separación, y se usaran técnicas como sistemas de posicionamiento global de alta precisión para controlar espacialmente las coordenadas para la carga de mena, la variabilidad en la dimensión vertical del cuerpo de mena impediría cualquier forma práctica de minería selectiva.

En consecuencia, el procedimiento normal para la explotación es seleccionar una ley de corte, perforación y muestreo económicos con el fin de estimar la ley del metal y extraer los bloques de mayor ley disponibles. En algunos casos, se dejan las áreas de menor ley del recurso para más adelante en la vida útil de la mina.

Las perforaciones de control de ley también tienen una función extra en la explotación de laterita de níquel. El procesamiento de lateritas requiere que los elementos de la ganga estén dentro de las especificaciones establecidas para el procesamiento aguas abajo. Por ejemplo, la relación de sílice a magnesia debe controlarse estrechamente para garantizar la fluidez de la escoria en la fundición. O el contenido de magnesio de los minerales procesados por lixiviación tiene una influencia directa sobre el consumo de ácido. El contenido de sílice y magnesia de la mena también puede variar ampliamente en las dimensiones vertical y horizontal del cuerpo de mena de laterita de níquel. Por lo tanto, la explotación de las diferentes zonas debe estar seguida de la mezcla, y nuevamente la minería selectiva para cumplir con las especificaciones de la ganga no es posible, excepto en circunstancias limitadas.

La estimación de control de ley de la composición de níquel y ganga inicia todas las actividades subsiguientes (extracción, mezcla y procesamiento) según se ilustra en la Figura 1.

La Figura 1 ilustra un proceso típico de minería: perforación 10 para analizar y estimar la composición del cuerpo de mena; planificación 12 con el fin de extraer

el mejor material para procesar; extracción y acarreo 14; apilado, mezcla y recuperación 16; y procesamiento de la mena mezclada en un producto comercializable 18. En la etapa de perforación 10, la separación entre perforaciones es cercana, y el costo de perforación y análisis es alto. La planificación 12 no provee de manera confiable la ley anticipada del níquel y las entradas de mezcla, y la dilución y las pérdidas son altas debido a la muy compleja geología. En la extracción y acarreo 14, el equipo de minería es pequeño para extraer selectivamente a ley y evitar la dilución, y hay mucha doble manipulación. La ley que puede conseguirse es baja. En el almacenamiento, mezcla y retención 16, hay una baja alimentación directa al procesamiento, es necesaria una doble manipulación para que la mezcla produzca un flujo de alimentación de procesamiento aceptable, y el capital de trabajo es alto. En el procesamiento y la mezcla 18, no hay proceso para beneficiar la mena, y el impacto de la ley de níquel y elementos de la ganga sobre el costo total por tonelada de producto es muy alto. Los costos de fundición de níquel son muy altos debido a la baja ley.

Las actividades después de la estimación de la ley son necesariamente imprecisas debido a la heterogeneidad del cuerpo de mena entre las perforaciones de control de la ley.

Las consecuencias de la imprecisión en torno a la estimación de la mena es el gran número de pilas de almacenamiento. Estas reservas de mineral se usan ya sea para permitir la mezcla del flujo de alimentación para el procesamiento con un contenido consistente de ganga, o para dejar de lado aquellos bloques de mena que están por debajo de la ley de níquel deseada para el procesamiento inmediato, pero que debe extraerse para acceder a otras menas de alta ley.

El costo del equipamiento minero de baja escala destinado a mejorar la precisión de la extracción, y la doble manipulación de la mena para lograr la mezcla y dejar mena para procesar posteriormente durante la vida útil de la mina, es significativo.

Otra característica inusual del procesamiento de lateritas de níquel es el costo relativo de la extracción y el procesamiento. A diferencia de la mayoría de los metales básicos, el costo de procesamiento de lateritas es significativamente mayor que el costo de la extracción de la mena.

Por lo tanto, la ley del flujo de alimentación de laterita suministrada al procesamiento es la principal determinante del costo unitario de la producción de níquel (\$/t níquel).

Por todas estas razones, el uso de lateritas de níquel se ha limitado a relativamente pocos cuerpos de mena grandes de alta ley, y los esfuerzos de desarrollo tecnológico se han centrado en encontrar procesos de menor costo para la fundición o lixiviación de las menas como existen de forma natural.

Durante la última década, en un campo distinto del esfuerzo técnico, cada vez más es posible disponer de equipos de detección para el análisis en línea de menas a granel.

La aplicación potencial de la clasificación a granel a lateritas de níquel se ha considerado, pero es potencialmente problemática.

Bamber (Referencia 3) en una patente que reivindica el diseño de un equipo de clasificación para separar los residuos de la mena, sugiere a las lateritas de níquel como una aplicación potencial para su sistema de equipamiento propuesto. Tiene por objeto "proporcionar un sistema y un método para clasificar los flujos de mineral, por ejemplo, menas de mineral de laterita, en flujos valiosos y de descarte clasificados apropiadamente para la máxima recuperación de valor del flujo de mineral". Bamber reivindica el potencial de clasificar a granel la laterita en 2 productos: una mena adecuada para fundición o lixiviación, y un flujo de residuos para descarte.

Más allá de esto, Bamber no explica cómo se podría integrar el equipo de clasificación en las actividades requeridas para la extracción, mezcla y

procesamiento de laterita de níquel.

Por ejemplo, los procesos de control de ley para las lateritas de níquel utilizan múltiples pilas de almacenamiento para mezclar la mena antes del procesamiento. En la estrategia de almacenamiento en pilas convencional para lateritas de níquel, la mena se asigna a las pilas de almacenamiento en múltiples niveles de decisión. El primer nivel, según lo reivindicado por Bamber, es una separación de las fracciones adecuadas para diferentes técnicas de procesamiento, tales como fundición, lixiviación o gestión de residuos.

El segundo nivel de decisión en el control de ley es una división de la mena adecuada para un método de procesamiento particular, en fracciones adicionales porque algunas menas pueden no tener una ley de níquel suficientemente alta para ser utilizadas en forma inmediata, sino que se reservan para ser sometidas al tratamiento posteriormente durante la vida útil de la mina.

Y el tercer nivel de decisión, es la asignación entre las múltiples pilas de almacenamiento de mezcla de la mena para su procesamiento inmediato, con el fin de cumplir con las especificaciones para el procesamiento posterior.

Como ejemplo de la complejidad del almacenamiento en pilas, en una operación de laterita en Brasil basada solamente en la fundición de lateritas, la mena se divide típicamente en un flujo de residuos y 7 tipos diferentes de pilas de almacenamiento anchas empleando un total de aproximadamente 50 pilas de almacenamiento concurrentes. Esta estrategia requiere de mediciones efectivas de control de ley de múltiples elementos, ejecutadas de manera oportuna para permitir el desvío de la mena en muchos flujos diferentes, basándose tanto en la medición de los elementos de ganga, las impurezas como el cobalto, como en el elemento de valor níquel. La cantidad de material que se vuelve a manipular es sustancial, alimentándose menos del 10% de la mena directamente a la trituradora primaria, y a la pila de almacenamiento de mezcla final antes de la secadora.

En resumen, si bien se ha reconocido el potencial de la clasificación a granel de lateritas de níquel, no se ha divulgado un sistema para la integración efectiva de esta tecnología de clasificación a granel en la cadena de manipulación de materiales.

La integración del sistema de control de ley completo es particularmente relevante cuando se considera la estructura de costos inusual para las lateritas de níquel. Para la recuperación de la mayoría de los metales, el costo de extracción por tonelada es alto, en relación con los costos de procesamiento posteriores. La clasificación a granel se centra en la recuperación de mena a partir de residuos, y en descartar proporciones modestas de la dilución minera por debajo de la ley de corte del procesamiento.

Los altos costos de procesamiento por tonelada para las lateritas de níquel, en relación con su costo de extracción, hacen que la aplicación potencial de la clasificación a granel sea muy diferente. El sistema óptimo debe configurarse para producir el mejor flujo de alimentación para el procesamiento, durante toda la vida útil de la mina, con una cantidad mínima de doble manipulación de materiales.

La invención tiene por finalidad proveer un método para alcanzar estos objetivos.

SÍNTESIS DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un método para procesar mena de laterita de níquel, que incluye los pasos de:

- obtener una mena de laterita extraída de una operación minera; y
- alimentar la mena a través de un clasificador a granel que comprende una disposición de sensor y un mecanismo de derivación que separa la mena en:
 - un flujo beneficiado de mena de laterita de níquel en donde la ley de níquel es más alta que la ley de la mena alimentada al clasificador a

granel y que típicamente puede mezclarse cumpliendo con la especificación para su procesamiento adicional por lixiviación o fundición;

- una o más fracciones de baja ley de mena con una ley de níquel menor que el flujo beneficiado; y
- una fracción de residuos para su eliminación.

Por lo general, la disposición de sensor y el mecanismo de derivación están configurados para aumentar la ley de níquel en el flujo beneficiado por más de 5%, y preferentemente más de 10%, y aún con mayor preferencia más de 15% en relación con la mena alimentada al clasificador a granel.

El flujo beneficiado puede comprender por lo menos 50% en masa de la mena alimentada al clasificador a granel.

Cuando el flujo beneficiado de mena de laterita de níquel es adecuado para la fundición, puede comprender más de 1,8% típicamente hasta 2,6% de Ni en masa en relación con la mena, preferentemente más de 2% de Ni, típicamente aproximadamente 2,2% de Ni.

Cuando el flujo beneficiado de mena de laterita de níquel es adecuado para la lixiviación, puede comprender más de 1% típicamente hasta 1,6% de Ni en masa en relación con la mena, preferentemente más de 1,3% de Ni, típicamente aproximadamente 1,45% de Ni.

Las fracciones de mena de baja ley pueden ser depositadas en múltiples pilas de almacenamiento de baja ley.

Preferentemente, el sensor mide y registra simultáneamente el níquel, la ganga y los elementos de impureza, como SiO₂, MgO, Co y Fe en el o los flujos beneficiados y las pilas de almacenamiento de baja ley.

Las mediciones registradas de níquel y ganga y elementos de impureza se pueden usar en la mezcla de la o las pilas de almacenamiento de baja ley con un

flujo beneficiado, para cumplir con las especificaciones de procesamiento del procesamiento posterior del flujo beneficiado por lixiviación o fundición.

Cuando la operación minera comprende perforaciones de control de ley, la separación entre cada perforación puede ser de por lo menos 15m, preferentemente de más de 15m.

El clasificador a granel puede configurarse para rechazar los residuos que se producen debido a una carga inexacta desde la cara de la mina.

El clasificador a granel puede configurarse para clasificar el material por debajo de la ley de corte para recuperar parches de mena de alta ley dentro del bloque de control de ley en la operación minera.

El clasificador a granel puede incorporarse a un sistema móvil o reubicable, que se reubica y mantiene progresivamente dentro de los 500m, y con mayor preferencia dentro de los 200m, y aún con mayor preferencia dentro de los 100m de la cara activa en la operación minera.

Más del 70%, y preferentemente más del 80% y aún con mayor preferencia más del 90% de la fracción de residuos, se puede volver a depositar directamente en un área alterada por la operación minera.

Más del 70%, y preferentemente más del 80% y aún con mayor preferencia más del 90% de las fracciones de baja ley pueden depositarse directamente en el área previamente alterada por la operación minera, para su almacenamiento temporal.

La información registrada por el sensor puede ser usada para reducir la doble manipulación de la mena beneficiada, de manera tal que menos del 30% y preferentemente menos del 20% y aún con mayor preferencia menos del 10% de la mena beneficiada sea almacenada en una pila de almacenamiento de mezcla antes de ser suministrada a una instalación de procesamiento.

La información registrada por el sensor puede ser usada para la gestión de la pila de almacenamiento con el fin de mejorar el control de la ganga y los elementos de impureza alimentados al procesamiento, a preferentemente dentro del 10% y aún con mayor preferencia dentro del 5% de las proporciones de alimentación diarias deseadas.

Es posible disponer múltiples clasificadores a granel en diferentes caras en la operación minera, y cada clasificador produce un flujo beneficiado para alimentar una instalación de procesamiento central.

La clasificación a granel puede usarse para beneficiar la mena antes del transporte a una instalación de procesamiento remota.

El clasificador a granel puede ser usado para identificar y separar la mena que es particularmente adecuada para una mejora adicional por cribado.

La ley de níquel a partir de la clasificación puede ajustarse periódicamente para reflejar la ley del recurso restante y/o el valor comercial del níquel del producto.

El proceso puede configurarse para transformar un recurso de baja ley en un cuerpo de mena de níquel que garantice el procesamiento.

Preferentemente, la heterogeneidad se mantiene evitando la homogeneización de la mena durante la extracción, carga y acarreo de la mena, con el fin de mantener la integridad espacial del cuerpo de mena natural.

Preferentemente, la mena no se mezcla, por ejemplo, por almacenamiento en pilas antes de la clasificación a granel.

Una forma de realización de la invención se refiere a un método de optimización de la extracción y procesamiento de mena de laterita de níquel que incluye:

- i) ejecutar procedimientos de control de ley como el análisis de perforaciones para ampliar el espacio en la extracción del mineral de laterita;
- ii) alimentar la mena extraída a un clasificador a granel que comprende una disposición de sensor y un mecanismo de derivación que separa la mena en:
 - un flujo beneficiado de mena de laterita de níquel en donde la ley de níquel es más alta que la ley de la mena alimentada al clasificador a granel para su procesamiento adicional por lixiviación o fundición;
 - una o más fracciones de baja ley de mena con una ley de níquel menor que el flujo beneficiado; y
 - una fracción de residuos para su eliminación; en donde:

el sensor en el clasificador a granel mide y registra simultáneamente el níquel y los elementos de impureza de la ganga como SiO_2 , MgO , Co y Fe en el o los flujos beneficiados y las pilas de almacenamiento de baja ley; y

las mediciones registradas de níquel y ganga y elementos de impureza se usan:

- en la mezcla de la o las pilas de almacenamiento de baja ley con un flujo beneficiado, para cumplir con las especificaciones de procesamiento del procesamiento posterior del flujo beneficiado, por lixiviación o fundición; y
- en los procedimientos de control de ley de extracción como el análisis de perforaciones para ampliar el espacio de perforación en todo el proceso de extracción.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra la heterogeneidad en las lateritas de níquel en relación con una industria minera típica;

La Figura 2 es un gráfico que ilustra la curva de tonelaje de ley estimado para una mena de laterita brasileña;

La Figura 3 es un gráfico que ilustra el impacto de la clasificación en las concentraciones de ganga en los bloques clasificados;

La Figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra los flujos de material que surgen del uso de la clasificación a granel en una mina de laterita; y

La Figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra el impacto de la clasificación a granel sobre los flujos de material y el almacenamiento en pilas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención es una configuración de los procesos de minería y manipulación de materiales para menas de laterita de níquel, que separan de manera eficiente parches de menor ley en la explotación de mena de la mina, en una pila de almacenamiento de baja ley o residuos, y que mezcla de manera eficiente la mena de alta ley seleccionada para cumplir con las especificaciones del procesamiento posterior.

Esta configuración permite un aumento significativo de la producción a un costo unitario más bajo, que el utilizado en los procesos de control de ley existentes, mediante la utilización de la heterogeneidad espacial de la mena, para separar los parches de la mena en diferentes flujos.

La heterogeneidad espacial del contenido de níquel de la mena se puede expresar en forma de una curva de tonelaje de ley. En la Figura 2, la curva de

tonelaje de ley de un cuerpo de mena de laterita de níquel brasileña se ilustra en términos de la relación entre la ley y el tonelaje para paquetes separados de 50 toneladas de mena, usando una ley de corte de 0.9% de níquel.

Por debajo de 0,9% los materiales remanentes que contienen níquel en el área de la explotación se consideran residuos, ya que no son económicos de procesar a través de las instalaciones de procesamiento, a pesar de tener parches de mena dentro del bloque de control de ley que son de ley adecuada.

Con frecuencia, estos residuos se deben extraer y transportar a una pila de residuos, simplemente para acceder a la mena adyacente de mayor ley.

Existe una forma similar de curva de tonelaje de ley para la fracción ácida del cuerpo de mena de laterita.

Es evidente a partir de la Figura 2 por ejemplo que, si fuera posible extraer selectivamente paquetes de 50 toneladas individuales de mena del cuerpo de mena total alcanzando una ley de 1,8%, las leyes de estos mejores paquetes contendrían muy por encima de 4% de níquel.

Sin embargo, tales procesos mineros no son prácticos, debido a la propagación de los parches de alta ley en todas las dimensiones del cuerpo de mena. Por lo tanto, la extracción se produce de forma secuencial, y se asigna un compuesto de la mena del área operativa a la planta de procesamiento. Solo existe una oportunidad limitada para el uso de técnicas de control de ley para demarcar aquellas áreas donde la ley estimada está por debajo de la adecuada ideal para el procesamiento inmediato, pero no por debajo de la ley final de corte. Cuando estas áreas de mena impiden el acceso a la mena de mayor ley, por lo general se procede a la extracción y almacenamiento en pilas para su recuperación posterior más adelante durante la vida útil de la mina.

El nivel de heterogeneidad evidente en la forma de la curva en la Figura 2, indica que la clasificación a granel tiene el potencial de beneficiar las lateritas de níquel,

a diferencia de la aplicación más normal de la clasificación de residuos de la mena, o la separación de la mena adecuada para fundición de la mena adecuada para la lixiviación.

Sin embargo, el uso de la clasificación a granel para beneficiar la mena puramente en la ley de níquel podría accidentalmente causar problemas significativos en la mezcla requerida para lograr elementos de ganga dentro de las especificaciones para el procesamiento. Por ejemplo, si el contenido de magnesio estuviera fuertemente correlacionado con el contenido de níquel, tal beneficio haría que la mena no fuese procesable.

El sistema más amplio para beneficiar el níquel utilizando la clasificación a granel, también debe adaptarse a la ley de los elementos de ganga. Esta distribución se ilustra para los mismos paquetes de 50 toneladas de mena en la Figura 3.

El contenido de ganga es relativamente independiente de la ley de níquel en ese paquete a nivel de un paquete de 50 toneladas. Los datos implican que, si la mena de laterita de níquel fuese almacenada a granel para beneficiar la ley de níquel, solamente habría implicaciones modestas en el equilibrio de los minerales de la ganga en el depósito general.

Nuevamente, resultados similares a los de la Figura 3, también fueron evidentes para las menas ácidas. Usando la tecnología de clasificación a granel que se ha desarrollado para detectar y derivar menas de laterita en flujos de mena y residuos (referencias 3,4,5), las relaciones de tonelaje de ley indican que las menas de laterita de níquel pueden beneficiarse a una ley deseada, dejando una fracción de ley más baja como residuo o para almacenar y usar más adelante en la vida útil de la mina.

Al medir el contenido de níquel, el sensor seleccionado apropiadamente puede proveer simultáneamente un análisis multi-elemento de la mena, probablemente con una precisión mejor que los procesos de control de ley convencionales. Esta

fuentes de datos puede utilizarse para aumentar la precisión y la eficiencia de la mezcla de materiales de ganga.

En cualquier área de la que se esté extrayendo secuencialmente, el sistema de clasificación a granel objeto de la presente invención puede seleccionar los mejores parches de ley para procesar, y separar la mena restante en un flujo de residuos y múltiples reservas de baja ley. Al mismo tiempo, la medición del contenido de ganga (según se ilustra esquemáticamente en la Figura 4) se puede utilizar para proporcionar entradas más precisas a las actividades subsiguientes de mezcla y procesamiento.

Con referencia a la Figura 4, una forma de realización de la invención comprende las siguientes etapas: etapa de perforación y análisis 20; etapa de planificación 22; etapa de análisis de la mina y beneficiación y acarreo 24; etapa de mezcla de la pila de almacenamiento y recuperación 26; y etapa de procesamiento en un producto comercializable 28. En la etapa de perforación 20, el análisis de separación entre perforaciones no necesita proveer un estimado preciso, sino solamente posibilitar la excavación de las zonas buenas primero, con una relación de Si/Mg general equilibrada. El costo de perforación y análisis es inferior. En la etapa de planificación 22, la planificación debe equilibrar las entradas para la mezcla y los bloques de alimentación de más alta ley. En la etapa 24, el analizador de flujos de alimentación de explotación selecciona la mejor mena y separa la ley baja (residuos o pila de almacenamiento a largo plazo). La mena de más alta ley puede ser seleccionada y la mezcla controlada. La velocidad de explotación se incrementa para mantener el fundidor lleno. El equipo de minería puede ser más grande (ya que la excavación precisa del material ya no es crítica). En la etapa 26, hay una alimentación directa baja para procesamiento. La doble manipulación es necesaria en la mezcla para producir un flujo de alimentación de procesamiento aceptable. El capital de trabajo puede reducirse con más alimentación directa. En la etapa 28, una ley más alta de níquel implica una mayor producción a menor costo/beneficio. Los costos de la producción de níquel son más bajos y es posible aumentar la producción.

Esta información mejorada brinda la oportunidad de coordinar la actividad de almacenamiento (según lo ilustrado en forma esquemática en la Figura 5). El conocimiento preciso de las composiciones de ganga se puede reunir de múltiples fuentes de mena transportadas a un solo clasificador, o de múltiples clasificadores ubicados cerca de las diferentes caras de la mina a través del cuerpo de mena.

Con referencia a la Figura 5, las operaciones actuales comprenden control de ley 30 y explotación 32. A partir de la explotación, se genera un flujo de residuos 34 y múltiples pilas de almacenamiento para mezcla 36 se necesitan para compensar la estimación de control de ley imprecisa, las cuales se emplean para su procesamiento adicional 38. El suministro directo de mena es inferior al 20% para permitir la mezcla del flujo de alimentación de níquel al procesamiento. De acuerdo con una forma de realización del proceso de la presente invención, se requiere un control de ley 40 menos preciso. Luego de la extracción 42 la mena es enviada a un clasificador a granel 46. El clasificador a granel clasifica un flujo de residuos 44, una fracción beneficiada 48 para su procesamiento adicional, y fracciones de baja ley 50 que pueden usarse como pilas de almacenamiento de recorte en el procesamiento posterior 52. El envío directo de mena es inferior al 50% para permitir la mezcla y la alimentación de níquel de la más alta ley al procesamiento.

Se han desarrollado sensores.

El clasificador a granel 46 comprende una disposición de sensor para el análisis de menas, por lo general, mediante la irradiación de la mena en transportadores que funcionan a una velocidad normal, y midiendo la señal resultante de acuerdo con las características de la mena integrado con un mecanismo de derivación para separar diferentes fracciones de la mena. (Referencias 3 – 6, quedan incorporadas a la presente como referencia). Por ejemplo, GEOSCAN utiliza la técnica conocida como Análisis por activación neutrónica de rayos gamma inmediata (*del inglés "Prompt Gamma Neutron Activation Analysis"* (PGNAA). GEOSCAN incorpora detectores de alta eficacia y un espectrómetro digital de última generación, lo cual supera las limitaciones de los sistemas de detección de

baja eficiencia convencionales. Si bien estos sensores se han utilizado predominantemente en el pasado para mezclar productos con el fin de cumplir con las especificaciones del mercado, de acuerdo con la presente invención, se pueden usar para medir y rechazar los residuos presentes en la mena entrante. Usada en este modo, la detección y la separación se denominan clasificación a granel. Otro ejemplo es el analizador elemental en línea Sodern CNA-Níquel, basado en la tecnología PFTNA “Activación de neutrones rápidos y térmicos por pulsos” (*del inglés: Pulsed Fast and Thermal Neutron Activation*).

Se han propuesto o comisionado unas pocas operaciones comerciales de clasificación a granel, principalmente en las aplicaciones de mena de hierro y cobre, con el fin de separar la mena para su posterior procesamiento a partir de residuos. Los residuos pueden ocurrir naturalmente, o ser una consecuencia de la dilución que se produce la extracción. En estos casos, el clasificador a granel se utiliza para rechazar los residuos antes de la instalación de procesamiento, no como parte integral del flujo general de materiales desde la extracción al procesamiento.

Esta información puede permitir que una mayor proporción de mena beneficiada sea alimentada directamente a una pila de almacenamiento de mezcla final antes del procesamiento, en lugar de a través de múltiples pilas de almacenamiento de mezcla intermedias.

En cualquier secuencia de extracción, habrá momentos en que los elementos de la ganga de las diferentes caras de la mina no estén equilibrados. En estas circunstancias, y según la ley de níquel y la composición de la ganga, el clasificador a granel puede asignar las composiciones de ganga más extremas a una pila de almacenamiento de recortes o como residuo.

La pila de almacenamiento de recorte se puede recuperar cuando sea necesario para equilibrar la alimentación en la otra dirección.

En caso de que la fundición requiera la mezcla de menas ácidas y básicas para lograr una proporción adecuada de sílice a magnesia, este enfoque permite la extracción y almacenamiento eficientes, pero también permite el desecho de los materiales menos atractivos para un cuerpo de mena dado.

La invención del sistema de clasificación a granel para lateritas de níquel, en su forma de realización completa, consiste en

- Procedimientos de control de ley y extracción de la mena de laterita adaptados a la separación y tamaño del equipamiento para optimizar el proceso de extracción en general
 - o Las ubicaciones y secuencias extracción se seleccionan para contener leyes aceptables de níquel y producir la mezcla aproximada de mena requerida para cumplir con las especificaciones de procesamiento
 - o La escala del equipo minero y los procedimientos de extracción se adaptan para utilizar el menor impacto de dilución, que es manejado por el clasificador
- La mena se alimenta directamente desde la explotación al clasificador a granel sin una pila de alimentación intermedia.
 - o La carga del clasificador a granel puede realizarse por camión o directamente desde el cargador a un clasificador móvil.
 - o Si el sensor está en el cargador en lugar de en un transportador, la derivación se logra a través de una tecnología de asignación de camiones.
- El sensor determina la ley promedio de un paquete de mena, y el derivador dirige los "paquetes" a múltiples destinos diferentes, dependiendo de su composición.
- Los parches de menor ley de menas de níquel, o aquellos con proporciones inaceptables de ganga, se separan y asignan a uno de los siguientes flujos

- o de descarte si resultan antieconómicos de procesar utilizando los equipos de procesamiento instalados.
- o de almacenamiento temporario en pilas de almacenamiento de recorte si tienen una alta ley de níquel, pero fuera de la ley preferida para alimentarlo directamente al procesamiento.
- o pilas de almacenamiento para acopio a largo plazo, si el paquete de mena contiene una ley de níquel económica, pero no la más alta ley para su procesamiento inmediato.
- o cribado o pilas de almacenamiento separadas si el tipo de mena contiene una ley de níquel y un ensamblaje mineral susceptible de beneficiarse aún más mediante el cribado
- El flujo beneficiado de mena de laterita de níquel, que se encuentra dentro o cerca de la especificación requerida para su procesamiento adicional, se dirige al flujo de alimentación de procesamiento.
- El recorte de las composiciones de ganga se produce mediante la recuperación de la mena de composición conocida de una de las pilas de almacenamiento de recorte.

Para las diferentes operaciones de laterita de níquel, se requerirá la totalidad o parte de esta forma de realización completa.

Los elementos críticos para administrar de manera efectiva la mejora de la ley de níquel y el manejo de materiales en la presente invención son:

- Evitar la homogeneización en la medida de lo posible durante la extracción, carga y acarreo de la mena, para mantener la integridad espacial del cuerpo natural de la mena tal como se presenta al clasificador a granel.
- Ajustar la tasa extracción, para generar una alta ley de laterita de níquel beneficiada a la tasa de producción demandada por la capacidad de procesamiento disponible.

- Ajustar el plan de explotación para equilibrar los elementos de la ganga, con el fin de evitar la necesidad de múltiples pilas de almacenamiento de mezcla a gran escala después de la clasificación a granel y antes del procesamiento.
- Utilizar los datos acumulados del sensor para controlar la recuperación de las pilas de alimentación de recorte con el fin de equilibrar los componentes de la ganga de la alimentación directa.

Mediante la integración del proceso de extracción, clasificación y mezcla en la presente invención, es posible aumentar la ley de las menas de laterita enviadas a la producción, reduciendo a la vez la doble manipulación y mejorando la precisión de la mezcla.

Como es evidente en la curva de tonelaje de leyes (Figuras 2 y 3), es posible generar una alimentación de ley muy alta con un rendimiento de tonelaje relativamente bajo, o una ley de níquel ligeramente más alta, pero con un rendimiento de tonelaje alto.

Mediante el cambio de la ley seleccionada en la clasificación a granel, es posible ajustar la alimentación de procesamiento a un valor económico óptimo para el cuerpo de mena específico que se está extrayendo y alterar progresivamente estas leyes durante el resto de la vida de la mina.

La invención además aumenta la flexibilidad disponible en el diseño y operación de la actividad de explotación de laterita de níquel, particularmente cuando los clasificadores a granel están ubicados cerca de o en las áreas de extracción.

Por ejemplo,

- La separación entre perforaciones de control de ley puede incrementarse
- Los residuos pueden apilarse dentro de la zona de extracción

- La dilución puede ser ejecutada de una forma menos rigurosa durante la extracción
- La recuperación de recursos se puede mejorar separando los parches de mineral de alta ley de los bloques de control de ley justo por debajo de la ley de corte de extracción actual
- La escala del equipo de extracción y acarreo puede aumentarse, sujeto a limitaciones de homogeneización.
- El grado de doble manipulación de material en la mina se puede reducir.

Para una forma de realización de la invención en donde la clasificación se realiza en un sistema móvil o reubicable, el clasificador a granel se puede desplazar para permanecer en o cerca de la excavación. Esto permite una distancia de acarreo muy corta para el mineral de ley media, antes de la beneficiación. También permite que los residuos se vuelvan a depositar en el área minada, con un costo mínimo de acarreo y restauración de la mina.

El material para el material de la pila de almacenamiento de baja ley también se puede colocar en una zona minada, minimizando la alteración de la tierra.

Solamente la mena beneficiada de la clasificación a granel se acarrea a través de una distancia significativa hasta la instalación de procesamiento, reduciéndose de esta forma los costos de acarreo por tonelada de níquel producida.

En otra forma de realización de la invención, la clasificación a granel se combina con el cribado.

La beneficiación por cribado (en base a la ley de níquel diferencial con diferentes tamaños de partículas) se basa en un principio diferente al de la beneficiación por clasificación a granel (heterogeneidad espacial). Así, el cribado y clasificación a granel son complementarios y pueden utilizarse en secuencia sobre una mena de laterita. Si un dominio de mena es tal que el cribado permite una mejora

económica, el clasificador a granel puede detectar y separar ese dominio de mena, segregando así la fracción adecuada para el cribado. Esto mejora la ley del níquel y reduce el capital y los costos operativos de la planta de cribado.

Si, al igual que para algunas lateritas de níquel, el cribado solo se realiza con la mena parcialmente seca, la clasificación a granel permite que la mena apropiada sea segregada y almacenada en espera de un cribado posterior en la estación seca.

En aún otra forma de realización de la invención, la ubicación de la extracción se puede equilibrar para proporcionar la mezcla aproximada en la alimentación al procesamiento. El clasificador a granel se ajusta para suministrar una composición de ganga precisa al procesamiento, con una alta ley de níquel.

Las fracciones modestas de la mena que cumplen con la ley de níquel seleccionada pero que no pueden ajustarse a las especificaciones de la ganga en un momento específico, pueden almacenarse, como pilas de almacenamiento de recorte.

El aumento resultante en la alimentación directa reduce el capital de trabajo y el costo de la doble manipulación de los materiales. Las entregas directas se pueden mejorar desde menos del 10% hasta muy por encima del 50% y, dependiendo del remanente en la explotación, se acercan al 100%.

En aún otra forma de realización de la invención, el contenido de níquel de la alimentación se puede ajustar utilizando la clasificación a granel, para responder a los cambios en el valor comercial del níquel, o la ley y el tonelaje del recurso que todavía está disponible para extraer. De esta manera, el valor del recurso se puede optimizar con el tiempo.

Y aún en otra configuración de la invención, se puede usar un clasificador a granel para beneficiar la laterita de níquel, generando así una mena que justifica el transporte a una instalación de procesamiento remota.

Los siguientes documentos quedan incorporados a la presente como referencia:

Referencia 1

ATTEMPTS AT THE BENEFICIATION OF LATERITIC NICKEL ORE. (Intentos de beneficiar mena de níquel laterítica)

Onodera, Jiroh (1); Inoue, Toshio (1); Imaizumi, Tsunemasa (1)

Fuente: *International Journal of Mineral Processing*, v 19, n 1-4, p 25-42, Mayo 1985; **ISSN:** 03017516; **DOI:** 10.1016/0301-7516(87)90030-5; **Conferencia:** Proc of the Int Symp on Laterite, Octubre 14, 1985 - Octubre 17, 1985

Referencia 2

Physical separations as potential techniques for preconcentration of nickel laterites (Separaciones físicas como técnicas potenciales de preconcentración de lateritas de níquel). Keith Quast (Future Industries Institute, University of South Australia) Jonas Addai-Mensah (Future Industries Institute, University of South Australia) William Skinner (Future Industries Institute, University of South Australia) 2016 Chemeca Conference 2016 (Adelaide, Australia 25-28 Septiembre 2016)

Referencia 3

US20130201481A1

Referencia 4

MetPlant2015 Metallurgical Plant Design and Operating Strategies – World's Best Practice (Diseño de plantas metalúrgicas y estrategias operativas: las mejores prácticas mundiales) Perth, Australia 7 – 8 Septiembre 2015 ISBN: 978-1-5108-2145-3 Optimising Plant Feed Quality and Process Performance Using Geoscan Elemental Analysis (Optimización de la calidad de alimentación de la planta y el rendimiento del proceso mediante un análisis elemental de Geoscan) H Kurth 373

Referencia 5

<https://www.scantech.com.au/solution/nickel/>

Referencia 6

Malvern Panalytical Sodern CNA-Nickel brochure (Folleto de Malvern Panalytical sobre el analizador Sodern CNA-Níquel)

<https://www.malvernpanalytical.com/en/products/product-range/cna-range/cna-nickel>