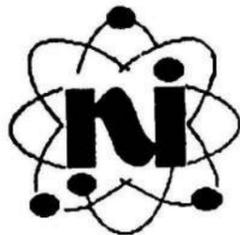


3. La aplicación, para los bloques meníferos del yacimiento Moa, de modelos mucho más complejos (primer o segundo orden) conduce a una variación sustancial de la estructura y parámetros de la anisotropía, así como a

una disminución significativa de la dispersión y de los radios de correlación de la componente casual de la variabilidad en la calidad de la mena.

REFERENCIAS

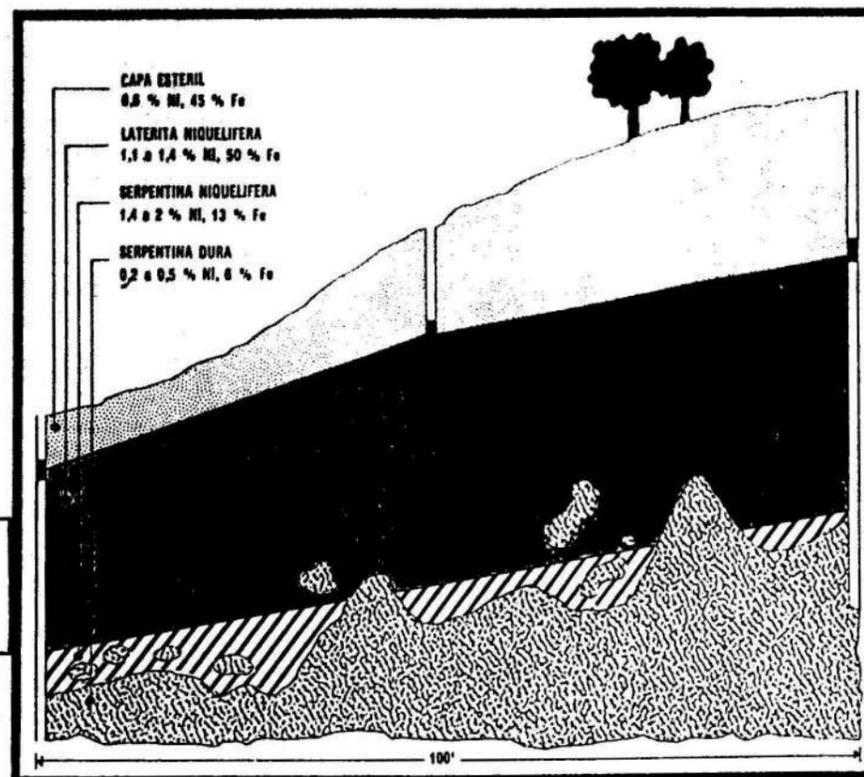
1. ABRAMOV, B.E., I.E. AZHEL y otros: *Planificación de los experimentos y pronóstico de la calidad de la materia prima mineral en las empresas mineras*. Ed. Ciencia, Novosibirsk, 1979.
2. AZHEL, I.E y H.S. BERNAL: "Modelo matemático de la componente casual de la variabilidad de la calidad de la mena en los bloques de extracción del yacimiento laterítico de Moa", en revista *Minería y Geología*. No.2, 1989.
3. KOMAROV, I.S.: *Elaboración y obtención de la información en las investigaciones ingeniero-geológicas*. Ed. Nedra, Moscú, 1972.
4. MATEROV, Y.: *Fundamentos de la Geoestadística Aplicada*. Ed. Mir, Moscú, 1968.
5. NISGURETSKY, Z.D.: *Sobre la aplicación de la Teoría de las Funciones Casuales no Estacionarias para la valoración de los resultados de la geometrización del yacimiento*. (Trabajos del I.I.C.B. Geometría Minera y Topografía), Tomo 93, 1974.
6. PAUL G. HOEL: *Estadística elemental*. Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1980.
7. RODIANOV D.A. y otros: *Manual de los métodos matemáticos en la Geología*. Ed. Nedra, Moscú, 1987.



EL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA LATERITA le ofrece la posibilidad que Ud espera.

El Centro ofrece consultoría especializada sobre cualquier aspecto de las tecnologías de procesamiento de minerales oxidados de níquel y cobalto.

Los yacimientos de lateritas níquelíferas de Nicaragua se presentan como mantos residuales, resultantes de la intemperización de la serpentinita, y en la mayoría de los casos yacen en llares que tienen una elevación comprendida entre 150 y 300 metros. El minado se realiza "a cielo abierto".



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA LATERITA
Carretera de Punta Gorda, Km 5
Moa 83330, Holguín, Cuba.
Teléfono: 6-7179
Teléfono: 021-322
FAX: (337) 333 302.

Perfil típico de un depósito de mineral oxidado de Níquel en el noreste de Cuba.

LA FORMACION DE LA CALIDAD DE LA MENA EN LA PLANIFICACION OPERATIVA DE LOS TRABAJOS MINEROS EN LA CANTERA MOA

Ing. Santiago Bernal Hernández

Centro de Investigaciones de la Laterita

RESUMEN: Se muestra que la formación de la calidad de la mena en la planificación de los trabajos de extracción en la cantera Moa, deberá realizarse sobre la base de la aplicación simultánea de los métodos de pronóstico efectivo de la calidad de la mena en la corteza terrestre, la utilización de un almacén de homogenización mecanizado y la confección del plan óptimo de los trabajos de extracción.

El plan óptimo de los trabajos mineros considera las exigencias del proceso metalúrgico relacionado con los índices controlados de la composición cualitativa (contenido de Ni, Co, Fe y Mg), el cual está orientado a la extracción máxima de los componentes valiosos de la corteza terrestre y garantiza el desarrollo uniforme del frente de los trabajos mineros de las diferentes excavadoras. El modelo matemático del plan óptimo representa una tarea de programación lineal de números enteros, la cual puede ser resuelta por los métodos conocidos.

ABSTRACT: The formation of the ore quality in the planification of works in Moa quarry is shown, it should be realized about the base of the simultaneous application of the effective pronostic methods of the quality of this mineral in the Earth crust, the use of one warehouse of mechanical homogenization and the making of a fine plan of the works.

The excellent plan of the mining works considers the requirements of the metallurgical process related with the controlled indexes of the qualitative composition (content of Ni, Co, Fe and Mg) which is directed to the maximum extraction of the valuable components of the Earth crust and it guarantees the uniform development of the front of the mining works of different power shovel. The mathematical model of the fine plan represents one task of linear programming of full numbers, which one can be determined by known methods.

Actualmente, la planificación operativa de los trabajos mineros en la cantera Moa, prevé el aseguramiento de los valores exigidos de los componentes controlados en los volúmenes, por turno o por jornada, de las diferentes excavadoras. En calidad de información inicial se toma el valor medio de la potencia y del contenido de los componentes controlados en las excavaciones de la exploración geológica de explotación, valores medios que se distribuyen en la zona de influencia de las distintas excavaciones.

La zona de influencia de la excavación de exploración se encuentra representada por un cuadrado de aristas de 33,33 m, en el centro del cual se encuentra la misma. La investigación de la variabilidad en los bloques (los que habitualmente poseen 81 excavaciones) muestra que el sistema de pronóstico utilizado da un error significativo en comparación con los métodos efectivos de pronóstico [1,3,6]. Los métodos más efectivos consideran los datos para todas las excavaciones que se encuentran en el interior de la elipse de correlación, en el centro de la cual se halla el punto que se pronostica [1], métodos con los que se logra una disminución considerable del error pronóstico.

Los cálculos muestran que en la cantera Moa tiene lugar un error significativo del pronóstico de los contenidos de níquel, cobalto y magnesio de 2-25% e insignificante en cuanto al contenido de hierro. Al mismo tiempo se observan errores mucho mayores del pronóstico de la potencia, hasta un 40%.

Se debe señalar que los errores del pronóstico de la potencia conducen a grandes pérdidas de los componentes valiosos en el proceso de extracción, y provocan un empobrecimiento considerable de la masa minera extraída a causa de las serpentinitas blandas. Esto es inadmisibles para el proceso metalúrgico, por cuanto los almacenes existentes en la cantera Moa no trabajan con homogenizadores; entonces, los errores del pronóstico provocan variaciones bruscas en la calidad de la mena en los flujos dirigidos al tratamiento. Como resultado de esto, por ejemplo, en el 40% de las jornadas los valores medios de los índices de la calidad de la mena no satisfacen las exigencias admisibles (sobre la base de los datos de la planta de pulpa).

Los procedimientos efectivos de pronóstico, en combinación con la planificación operativa de los trabajos mineros, y la homogenización de la mena en un almacén especial, pueden fiablemente garantizar las exigencias de los procesos de tratamiento, sobre los índices de la composición cualitativa de la composición de la materia prima mineral.

En la cantera Moa existen almacenes de menas ubicados en las pendientes de las lomas, los cuales no pueden funcionar como homogenizadores, en lo esencial esto se relaciona con la imposibilidad de formación en estos almacenes de pilas de muchas capas de mena triturada, lo que argumenta la racionalidad de organizar un almacén de homogenización de galerías mecanizado en la zona de la plataforma de alimentación del transportador (o de otro tipo).

de transporte). El almacén propuesto consta de dos hileras de pilas de muchas capas de mena triturada, la capacidad general del mismo corresponde a 20 días de reservas, en éste se realiza la carga periódica de las pilas.

Las capas se forman con el desplazamiento cíclico de la instalación de carga, la cual está ubicada en las galerías.

La descarga (expedición) de las pilas se ejecuta por capas transversales con la excavadora E-2503 (o similar) o por un cargador en una tolva móvil. Más adelante, con ayuda de un transportador auxiliar, la mena es entregada al transportador principal, el que la conduce a la planta de pulpa.

En el almacén de homogenización la mena es entregada, después de ser triturada (triturador que existe en estos momentos), con ayuda de otro transportador complementario.

El esquema propuesto de homogenización es autónomo en relación con los esquemas existentes de almacenamiento de las menas.

En casos extremos, por ejemplo en los días de lluvia, la mena es entregada directamente desde el almacén principal por la excavadora a la tolva de recepción del transportador principal.

Las pilas de muchas capas del almacén de homogenización trabajan en un régimen periódico, una se encuentra en carga mientras otra se descarga; la estructura de las pilas garantiza la homogenización interna y entre pilas [1].

La homogenización interna efectiva de la pila se alcanza a expensas de la colocación de la mayor cantidad de capas (en orden de 100 a 200 capas), y la expedición de las menas en las pilas se lleva a cabo por capas transversales de un espesor relativamente pequeño, surgiendo con esto una variación de la composición cualitativa del flujo menífero de alta frecuencia [1], el cual se filtra en el sedimentador.

La homogenización efectiva entre pilas se garantiza con la planificación efectiva de los trabajos mineros; [2] tal planificación se orienta a asegurar los índices exigidos de la calidad de la mena en su conjunto por pila.

La planificación operativa de los trabajos mineros propuesta en la cantera Moa tiene las siguientes particularidades:

- el plan está orientado a la formación de pilas de homogenización de volúmenes constantes
- el valor medio de los índices de la composición cualitativa de la mena en las pilas deberá satisfacer las exigencias del proceso metalúrgico
- en los límites necesarios deberá ser garantizado el laboreo uniforme de los bloques
- el plan debe garantizar la extracción máxima de los componentes más valiosos (níquel, cobalto, etc.) de la corteza laterítica
- el planteamiento complejo de la planificación operativa de los trabajos mineros analizados se hace por primera vez para los yacimientos lateríticos.

Analicemos el modelo matemático de la planificación operativa de los trabajos mineros. Previamente, formulemos las exigencias de la planta metalúrgica relacionada con los contenidos de los componentes controlados y hagamos algunas aclaraciones.

El yacimiento Moa posee el contenido mínimo industrial de níquel en el macizo. El contenido de Ni, Fe, Co, Mg en el flujo de mena deberá cumplir con las exigencias del proceso metalúrgico.

En la zona de trabajo de j excavadoras andantes ($j = 1, 2, 3, 4$) se distinguen m_j sectores unitarios de extracción. La zona de trabajo se presenta como un círculo (parte de éste), el cual tiene un radio igual al radio de carga de la excavadora, el sector unitario pertenece a este círculo.

A los sectores unitarios de excavadoras corresponden iguales volúmenes de mena q (en lo adelante lo denominaremos porciones unitarias de mena).

Designaremos los valores de Ni, Co, Fe y Mg en i porciones de j excavadoras a través de P_{ij}^{Ni} ; P_{ij}^{Co} ; P_{ij}^{Fe} y P_{ij}^{Mg} , respectivamente.

La capacidad de las pilas es constante y contempla N porciones unitarias de mena. El plan operativo representa el conjunto $\{X_{ij}\}$ de valores de la variable $\{X_{ij}\}$, la cual tiene el sentido siguiente:

- $X_{ij} =$
- 1: si i porciones de j excavadoras se incluyen en la pila
 - 0: en caso contrario

Debido a que en la cantera Moa se utilizan excavadoras andantes, existen condiciones favorables para la elección más racional de la sucesión de extracción y transporte de las porciones de menas unitarias incluidas en el plan.

Considerando lo dicho, formulemos las restricciones aplicadas en el plan operativo de los trabajos de extracción:

$$\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^m X_{ij} = N \quad (1)$$

$$\frac{\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^m P_{ij}^{Ni} X_{ij}}{N} \geq \text{El contenido mínimo de Ni exigido en el flujo de mena enviado al proceso metalúrgico} \quad (2)$$

$$P_{ij}^{Ni} \geq \text{El contenido mínimo industrial en el macizo} \quad (3)$$

$$\frac{\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^m P_{ij}^{Fe} X_{ij}}{N} \geq \text{El contenido mínimo de Fe exigido en el flujo de menas enviado al proceso metalúrgico} \quad (4)$$

$$\frac{\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^m P_{ij}^{Co} X_{ij}}{\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^m P_{ij}^{Ni} X_{ij}} \geq \text{El límite mínimo establecido de la relación Co-Ni en el flujo de menas enviado al proceso metalúrgico} \quad (5)$$

$$\frac{\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^m P_{ij}^{Mg} X_{ij}}{N} \geq \text{El contenido máximo permisible de magnesio en el flujo de menas enviado al proceso metalúrgico} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} - \sum_{i=1}^{Mk} X_{ik} \leq l_{jk} \quad (7)$$

$l_{kj} = 1, 2, 3, \dots; K=2, 3, 4 \quad j < k$

La restricción (7) considera la diferencia admisible l_{jk} en los volúmenes de extracción (en porciones unitarias de menas) de j y K excavadoras. Al mismo tiempo garantiza el desarrollo uniforme de los trabajos mineros.

El criterio para la confección del plan operativo óptimo se estructura de la siguiente manera para minimizar las pérdidas de los compuestos valiosos, por ejemplo, del níquel y cobalto en la corteza terrestre durante un período de tiempo largo de explotación de la cantera. Tal exigencia

$$C_{Ni} \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^m P_{ij}^{Ni} - \bar{a}_{Ni} N - \bar{a}_{Ni} + C_{Co} \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^m P_{ij}^{Co} - \bar{a}_{Co} N - \bar{a}_{Co} \quad \text{Min}$$

El modelo propuesto para el plan operativo óptimo de los trabajos mineros en la cantera Moa es una tarea de programación lineal de números enteros. Se

se considera por la vía de la valoración de la proximidad de los valores medios de los contenidos de Ni y Co en la pila a los valores medio de Ni (\bar{a}_{Ni}) y Co (\bar{a}_{Co}) en los sectores de excavadoras [2]. En esto, con ayuda de los parámetros C_{Ni} y C_{Co} se considera el precio relativo del Ni y del Co en una tonelada de mena.

El plan óptimo de los trabajos de extracción se encuentra mediante la minimización del siguiente criterio:

puede mostrar que la solución de este problema se encuentra con ayuda del método modificado, de VeT y el de los límites.

CONCLUSIONES

1. La dirección de la calidad de la mena en la planificación operativa de los trabajos mineros en la cantera Moa deberá realizarse sobre la base de la aplicación simultánea de los métodos de pronósticos efectivos en la calidad de la mena; utiliza un almacén mecanizado de homogenización de pilas de muchas capas y realiza el plan óptimo de los trabajos de extracción.
2. La planificación operativa óptima de los trabajos mineros propuesta garantiza el cumplimiento de las exigencias

- del proceso metalúrgico en relación con los índices de la composición cualitativa de los flujos de menas, la extracción máxima de los componentes valiosos de la corteza terrestre y también el desarrollo uniforme del frente de los trabajos de cada una de las excavaciones.
3. El modelo matemático del plan óptimo representa una tarea de programación lineal de números enteros, lo cual puede ser resuelto por los métodos conocidos.

REFERENCIAS

1. ABRAMOV, B.E. I.E. AZBEL y otros: *Planificación de los experimentos y pronóstico de la calidad de la materia prima mineral en las empresas mineras*. Ed. Ciencia. Novosibirsk, 1979
2. ARSENEV, S.A. y otros: "Planificación operativa de los trabajos de extracción en las canteras en régimen de homogenización". *Gorni Journal*. No. 1, pp. 5-9, 1976.
3. MATERON, Y.: *Fundamentos de la Geoestadística Aplicada*. Ed. Mir, Moscú, 1968.
4. RODIANOV, D.A. y otros: *Manual de los métodos matemáticos en la Geología*. Ed. Neora, Moscú, 1987.

