

# DISEÑO DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN PARA LA PRESA DE RECHAZO NUEVA UBICADA EN LA EMPRESA “COMANDANTE PEDRO SOTTO ALBA” MOA NICKEL S.A

**Ramón Polanco Almanza<sup>(1)</sup>, Yuneisy Guilarte Matos<sup>(2)</sup>**

(1) Empresa Pedro Sotto Alba. Moa Nickel S. A. Carretera del Puerto S/N, Moa, Holguín, Cuba. E-mail: rpolanco@moanickel.com.cu

(2) Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, Las Coloradas S/N, Moa Holguín, Cuba.

## RESUMEN

El diseño del Sistema de Explotación para el material laterítico depositado en la Presa de Rechazo Nueva de la Empresa Moa Nickel S.A. “Comandante Pedro Soto Alba”, proveniente de la Planta de Preparación de Pulpa de dicha entidad, que enmarca un área con una extensión total a 36 ha, se realiza con el objetivo fundamental de aprovechar los recursos y las reservas geológicas ubicadas en la misma, e incorporarlas a la minería. se realiza una caracterización general de la zona de estudio que abarca la estimación de sus reservas existentes, las características de formación del rechazo, geotécnica y sus propiedades físico-mecánicas. Se realiza además la evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos de los taludes de los bancos de explotación, se argumenta y se desarrolla el cálculo del factor de seguridad, realizado por el método de equilibrio límite de forma grafo-analítica, para 1, 2 y 3 metros de altura de banco y taludes de 45, 60, 75, y 90 grados y una breve evaluación del equipamiento actual para su explotación, se establecen los parámetros para el diseño del método de explotación y se realiza la valoración económica de la propuesta de diseño para determinar el costo de explotación.

## ABSTRACT

The research work details the design and proposal for the exploitation system of the lateritic ore stored at the New Serpentine Reject Pond Facility belonging to Moa Nickel S.A “Comandante Pedro Sotto Alba”. The reject is the result of the process that takes place in the Slurry Preparation Plant belonging to the previously mentioned company and covers a total area of 36 ha. The plan outlines utilizing the Resources and geological reserves found in the Serpentine Reject Pond Facility in order to incorporate the resources into to the process as part of the current mining operations. This research contains an overall characterization of the studied area including an estimate of the existing reserves, the formation characteristics of the reject material, and geo-technical and physical-mechanical properties. The investigation supports and develops calculations for a safety factor using the limit equilibrium method in a graphic- analytical manner for a bench height of 1, 2 and 3 meters and slopes of 45°, 60°, 75° and 90°, thus utilizing the existing equipment used for exploitation purposes. an exploitation system for the reject material is proposed for the Serpentine Reject Pond Facility. The proposal includes parameters that should be considered for the exploitation design method and the economics of the proposed design in order to determine the exploitation costs. Finally, the paper presents conclusions and recommendations, which are the result of the whole investigation process for future exploitation of the New Serpentine Reject Facility.

## INTRODUCCION

La minería es una actividad determinante en el desarrollo de la sociedad, según estimados, entre los recursos naturales utilizados para la satisfacción de las necesidades de la sociedad, los minerales ocupan el ochenta por ciento. Entre los diversos tipos de actividad que realiza el hombre, las relacionadas con la extracción y uso de los recursos minerales poseen un significado de primer orden, sobre todo, en esta época de revolución científico – técnica, el laboreo de las entrañas de la tierra es una actividad económica básica de la sociedad y por eso no es casual que se refleje en la periodización de la historia antigua: edad de piedra, de bronce y de hierro.

Actualmente la industria del Níquel en nuestro país está llevando a cabo un amplio proceso inversionista y de ampliación, del que forma parte la Empresa “Comandante Pedro Sotillo Alba” Moa Nickel S.A. que trabaja en la expansión de su producción hasta 49 000 t sulfuro de Ni+Co, para lo cual debe enviar a proceso alrededor de  $5 \times 10^6$  t de materia prima mineral cada año.

La explotación del material vertido en la presa de rechazo nueva, es de primordial importancia para esta Entidad Minera debido al incremento de reservas geológicas con características que hacen factible su procesamiento metalúrgico.

La instalación de la planta de preparación de pulpa durante mucho tiempo funcionó sin incremento de su capacidad instalada, al mismo tiempo que la fábrica ampliaba su capacidad con un tren más de lixiviación (1995-1997) y con producciones por encima de su capacidad de diseño (24 000 t). Esto, unido al empeoramiento de su estado técnico y bajo control de su funcionamiento, así como a la abundancia de conglomerados arcillosos de limonita en la alimentación de mineral minado, condujo al incremento del nivel de rechazo y pérdidas de mineral en forma sensible ya desde 1995-1997 en que resultó ser mayor que en los periodos anteriores.

La solución de este problema consistía en la construcción de una nueva Planta de Pulpa en el Yacimiento Moa Oriental en el año 2003, esta fecha ha sido postergada en varias ocasiones, conllevando la necesidad de inversiones en la Planta de Pulpa actual con el objetivo de aumentar su eficiencia para disminuir el volumen de rechazo.

Los volúmenes históricos de rechazos en la Planta de Preparación de Pulpa han sido de alrededor de 22%, pero la situación ha empeorado en el último lustro, por lo que la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) de forma consistente ha señalado en sus inspecciones anuales que los minerales de limonita rechazados por la Planta de Preparación de Pulpa de Moa Nickel han representado una pérdida significativa de un recurso mineral no renovable y sugirió el análisis de la factibilidad de su explotación.

Durante el año 2001, hasta finales de agosto, el rechazo fue superior al 29% con una productividad diaria promedio de mineral de 9980 toneladas, por lo que se realizaron algunas modificaciones durante 2002-2003 a la actual Planta de Preparación de Pulpa para disminuir el porcentaje de rechazo con la instalación de un circuito de rechazo en la actual Planta de Preparación de pulpa que incluiría un cilindro lavador, transportador alimentador, una bomba para pulpa, un circuito adicional de cribas y un transportador de descarga.

Estas modificaciones contribuyeron a que durante el año 2003 la eficiencia fuera elevándose mensualmente.

La economía para un circuito de recuperación de rechazo se basa en la mejora de la recuperación general de los conglomerados arcillosos de limonita en la alimentación de mineral minado a la planta

desde un 82% hasta un nivel estimado de 95%. Esto corresponde a una reducción anual de la cantidad de mineral minado requerido para lograr una producción de Ni+Co de 32 000 t/a.

Durante los años 2003-2004 se evaluó el rechazo de las presas existente en las cercanías de la planta de preparación de pulpa con resultados positivos para su aprovechamiento industrial, disponiéndose de las condiciones y vías de solución para el reprocesamiento del mineral de las Presas de Rechazos.

El **Objetivo** fundamental de este trabajo es diseñar el Sistema de Explotación para la extracción de las reservas minerales vertidas en la Presa de Rechazo Nueva de la Empresa “Comandante Pedro Sotro” Alba Moa Nickel S.A.

## Caracterización y estimación de recursos de la Presa de Rechazo Nueva

### Ubicación General de los Trabajos

El área de estudio se encuentra ubicada al Sur del municipio Moa, provincia Holguín.

Definida por el área donde se encuentra depositado el material de rechazo proveniente de la Planta de Preparación de Pulpa de la Empresa Moa Níkel S.A. Comandante Pedro Soto Alba. (Ver Anexo No.1).

El área de reconocimiento está enmarcada en una extensión total de 294.26 ha, donde se vertió el material no utilizado por la Planta de Preparación de Pulpa antes de la Empresa Mixta Moa Níkel S.A. y posterior a la formación de esta. Estas áreas se localizan entre los vértices de coordenadas Lambert, del sistema de coordenadas Cuba Sur que se muestran en la Tabla No.1. y Figura No. 1. (Colectivo de autores ,2004).

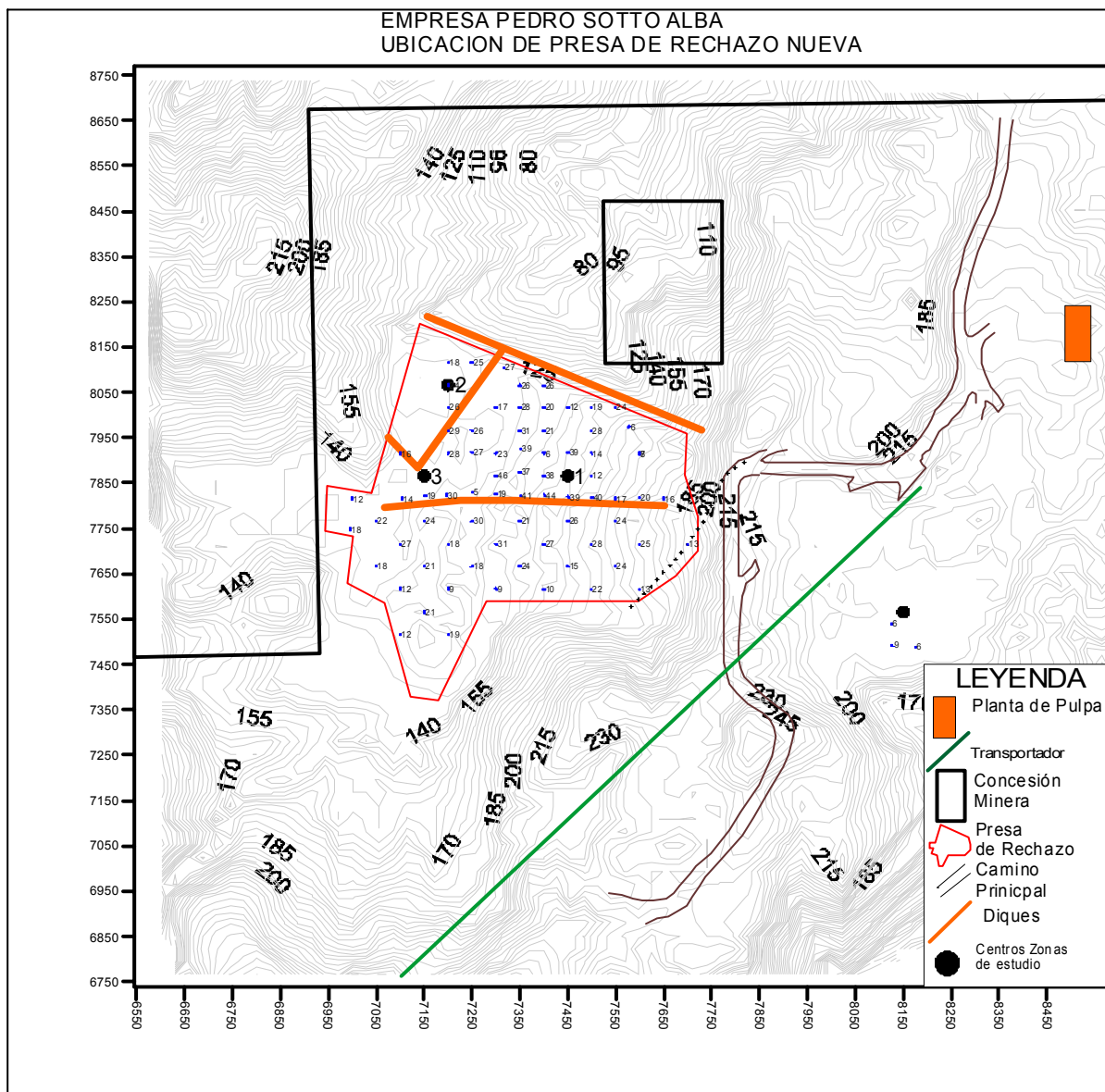
**Tabla No.1**

Vértices del área de Investigación

VÉRTICE S	Coordenadas Nacionales		Coordenadas Locales	
	X(m)	Y(m)	X Local (m)	Y Local (m)
I	694480	219150	6910	8675
II	696624	219171	9054	8696
III	696624	217788	9054	7313
IV	694480	217788	6010	7313
I	694480	219150	6910	8675

En la presa de Rechazo Nueva el material fue depositado sobre el relieve original “In situ”, correspondiente a cortezas de gabro, no perspectivas para las exploraciones geológicas. Se debe destacar que con anterioridad se realizó la construcción de un sistema de drenaje de las aguas vertidas dentro del área, que en la actualidad está cubierto por el material de rechazo por haber sobrepasado la capacidad inicial de diseño de almacenaje de este material. Colateralmente se han realizado ampliaciones al dique de contención actual y se construyó un nuevo sistema de drenaje de las aguas, ampliando así su capacidad de almacenaje.

**Figura No.1.** Ubicación General de los Trabajos. Presa de Rechazo Nueva.



**Relieve de la zona de estudio**

El relieve de la región de Moa es montañoso y pertenece a la Sierra Nipe – Cristal – Baracoa, el área de estudio posee un relieve artificial, con cotas que varían desde 179,3 hasta 206,3 m. s. n. m (Metros Sobre el nivel del mar) con pendiente suave este – noroeste. En la foto número 1 que se *SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2007.* Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de Marzo de 2007

muestra a continuación se observa el relieve predominante y el dique que sirve de barrera al material vertido a este depósito. (Colectivo de autores, 2004.)

### **Valoración de las condiciones hidrogeológicas**

Durante la ejecución de los trabajos geofísicos en la presa, parte considerable de ella estaba inundada, al continuar recibiendo de forma continua aportes de agua. En los perfiles de interpretación presentados por la Empresa Geominera de Oriente se refleja que el nivel freático, por lo general está situado muy cerca de la superficie, el material está muy húmedo.

En la Presa de Rechazo Nueva la profundidad del nivel freático oscila entre 0,5 a 5,1 m teniendo una profundidad media de 2,28 m.

El nivel freático en esta presa está muy relacionado con el aporte de agua que reciba, por lo tanto su evaluación debe realizarse en el momento en que su conocimiento sea necesario por la influencia que pueda tener en los trabajos que se planifiquen ejecutar por que en estos momentos no se está vertiendo material.

### **Formación de los depósitos de rechazo y descripción de las etapas de formación de la Pulpa Producto y el material de rechazo.**

La planta de Preparación de Pulpa de la Empresa "Comandante Pedro Sotillo Alba" Moa Níquel S.A comenzó su funcionamiento entre los años 1958-1959, con una capacidad de diseño de 522 t/h y destinada a preparar en forma de pulpa los minerales provenientes de los diferentes yacimientos en explotación, generando hasta un 10 % de rechazo. El producto final de esta planta consiste en una mezcla de mineral con adición de agua entre 75 % y 78 %, con una granulometría por debajo de 20 mesh, Esta pulpa es enviada hacia la fábrica utilizando un Pulpo que por diferencia de altura, drena por la acción de gravedad hasta los tanques de espesadores que se encuentran a una distancia lineal aproximada de 3500 metros.

Los yacimientos minerales en su constitución presentan diferentes fracciones granulométricas de las cuales solo la fracción (- 20) mesh es la aprovechable al proceso, las fracciones superiores a 20 mesh se generan en el proceso de la planta como material de rechazo, mezcladas con un porcentaje de fracción de -20 mesh que varía en dependencia de la eficiencia de la Planta de Preparación de Pulpa.

El material de rechazo vertido se encuentra en dos áreas ubicadas en las proximidades de la planta. La primera área denominada "Presa de Rechazo Vieja", corresponde al primer período de procesamiento de la planta aproximadamente entre los años 1958-1972, formada en su mayor parte por la mezcla de minerales de los yacimientos de Zona "B", Atlántico y los diferentes cuerpos de Yamanigüey que se encontraban en explotación.

En la década del setenta, producto de la limitada capacidad de almacenaje de esta presa de rechazo, se construye la presa actual denominada "Presa de Rechazo Nueva", constituida en su mayor parte por la mezcla de mineral de los yacimientos de Atlántico, Yamanigüey, Zona Sur, Zona Pronóstico, Zona "A" y en menor grado Moa Oriental y el bloque P-46 del yacimiento Punta Gorda

En la primera etapa del proceso en la Planta de Preparación de Pulpa se genera un volumen de rechazo de fracción rocosa, estos se acumulan en la parte posterior de la planta, que según mediciones realizadas hasta el momento solo representa el 0.69 % del volumen de mineral alimentado a Planta de Pulpa. Este tipo de rechazo en ocasiones se encuentra mezclado con mineral, donde más del 98 % corresponde a material rocoso.(Sánchez D., 2002)

## **Caracterización Geotécnica y propiedades físico – mecánicas del material**

El material de rechazo que se acumula en esta presa se presenta uniforme en cuanto a una secuencia granulométrica que permite separar en estratos los materiales diferentes de forma definida. Ello es producto, de los diversos caminos que sigue el flujo de agua y sedimentos con rechazo provenientes de la planta de pulpa. La pequeña diferenciación granulométrica se presenta no solamente en su rumbo sino además en todo el perfil del material depositado y en toda el área del embalse que consiste en las mezclas de material arcilloso y limoso con perdigones y fragmentos de rocas serpentínicas de dimensiones promedios de entre 1 – 3 cm., pero ello no influye en el comportamiento granulométrico general que presenta el embalse.

Desde el punto de vista geotécnico los enlaces estructurales entre las partículas del material de rechazo depositado en la presa no han podido formarse durante el tiempo en que se ha estado vertiendo rechazo ya que esto es un proceso de muchos años, por lo que podemos decir que es un material poco cohesivo, de enlace muy débil con sus partículas componentes y ángulo de fricción interno es muy bajo, por lo que desde el punto de vista geotécnico es un material muy inestable. (Geominera de Oriente, Mayo 2003.)

## **Estimación de recursos de la presa de rechazo nueva**

La estimación de los recursos de mineral de tipo LB y SB establecidos en el material de la presa de rechazo se realizó por el método del bloque geológico subtendido por el perímetro del área de la presa de rechazo. Este es un método geométrico con efectividad probada en la práctica de la prospección geológica. (Ver Anexo No. 7 y No.8). El área de la presa fue medida por digitalización de su perímetro, observando la tolerancia condicionada por el paso y geometría de la red de perforación para la extrapolación más allá de los pozos periféricos, siendo de 305 154.7 m<sup>2</sup> y (perímetro de 2 330.86 m. Esta área fue repartida por igual entre los pozos correspondientes, o sea: 76 pozos perforados, 4 015.2 m<sup>2</sup>/pozo, obteniéndose una integración geométrica espacial prismática en que la altura de cada prisma es la potencia mineral descubierta por el pozo de perforación, y el área de la base las indicadas por pozo para cada presa en cuestión. (Hurra J., de la Guardia W. Romero A., 2002)

## **Estimación de Recursos limitados para la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba” Moa Níckel S.A.**

Considerando que Moa Nickel solo tiene el derecho de utilizar los Recursos depositados a partir del inicio de la empresa mixta. Se valoró que el mineral de rechazo acumulado desde el inicio de la empresa mixta, se estima que representa el 53 % del Total de Recursos depositados dentro de la Presa de Rechazo Nueva.

Moa Nickel estimó que 4.0 millones del Total de Recursos depositados corresponden al 53 %, dentro de ese total se estima como Recursos útiles (-20 mesh) 2.8 millones.

Tomando como base la división de la Presa Nueva en dos sectores como se propone, se realizó la estimación de los Recursos Totales y los Recursos útiles (-20 msh) para cada sector.

En la información que se recibió de Knigh Piesold no se incluye el sector que define estos sectores, por lo que Moa Nickel realizó una estimación de estos como se muestra en el plano anexo. (Figura No. 2)

**Tabla No.2:** Resultados de la Estimación de los Recursos Minerales de la Presa. Método del Bloque Geológico.

Parámetros	MENAS	
	LB	SB
<b>Pv</b>	1.18	1.06
<b>Fe</b>	43,52	29,57
<b>Ni</b>	1.22	1.35
<b>Co</b>	0.122	0.135
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	10.55	10.94
<b>SiO<sub>2</sub></b>	6.05	18.23
<b>Mg</b>	1.58	6.38
<b>MnO</b>	1.00	1.08
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2.39	1.96
<b>PET</b>	6.00	–
<b>PMT</b>	1664.10	260
<b>PM</b>	21.89	0.65
<b>TM</b>	7413039.3	10222.8
<b>VM</b>	6681694.3	10439.6
<b>TM&lt;20m</b>	5811081.51	–

**SIMBOLOGIA:**

**PET**=Potencia Total de Escombros (m)

**PMT**=Potencia Total de Mena (m)

**TM**= Tonelaje de Mineral (t)

**VM**= Volumen de Mineral (m<sup>3</sup>)

**TM <20**= Tonelaje de Mineral con Granulometría <20 Mallas

**LB**= Mineral laterítico de balance

**SB**= Mineral serpentínico de balance

Los contenidos están expresados en porcentaje (%) y el peso volumétrico (**Pv**) en (t/m<sup>3</sup>).

Según sugerencias de Knight Piesold la Presa de Rechazo Nueva fue dividida en dos sectores o Dominios (Ver Figura No.1). Se realizaron los cálculos de las reservas en ambas zonas bajo diferentes criterios (Ver Tabla No. 3):

- Reservas de las zonas hasta el fondo del cuerpo de la presa

Reservas en la Zona Este hasta el nivel 121, que corresponde con el 53% de las reservas totales de la Presa Nueva, que es lo vertido a partir del surgimiento de la Compañía. (Hurra J., de la Guardia W. Romero A., 2002)

**Tabla**  
 Cálculos  
 Reservas

PARÁMETROS	SECTOR ESTE	SECTOR OESTE	SECTOR ESTE HASTA NIVEL 121
<b>Reservas</b>	4,955,718	2,575,078	3,947,945
<b>%Ni</b>	1.22	1.19	1.21
<b>%Fe</b>	43.26	43.2	43.46
<b>%Co</b>	0.119	0.122	0.118
<b>%SiO<sub>2</sub></b>	6.34	6.36	6.27
<b>%Mg</b>	1.74	1.54	1.73
<b>%Mn</b>	0.77	0.79	0.76
<b>Sedimentación</b>	156	161	156
<b>Peso Volumétrico</b>	1.09	1.07	1.10

**No.3**  
 de

efectuados en la Presa de Rechazo Nueva.

Inicialmente se estimó que hasta el nivel 125, correspondía al 53 % de los recursos depositados por Moa Nickel. Cuando se realiza la estimación de los recursos teniendo en cuenta los dos sectores definidos, el sector oeste mostró bajo volumen de recursos.

Dado que el sector Oeste es más complejo desde el punto de vista minero técnico y requiere de operaciones adicionales, además que los recursos hasta el nivel 125 es bajo, se determinó utilizar solo los recursos del sector Este, completando el 53 % de los Recursos Totales. Este porcentaje queda definido para el sector Este en el nivel 121.

El 53 % de los recursos de la Presa Rechazo Nueva es lo que corresponde a Moa Nickel. Debido a que la minería se va a limitar al sector Este el volumen de Recursos, que constituye el 53 %, o sea lo vertido por Moa Nickel, se logra minando hasta el nivel 121, los valores de estos Recursos se muestran en la (Tabla No. 4). (Hurra J., de la Guardia W. Romero A., 2002)

#### II.7.2 Estimación de Recursos Potenciales de la Presa de Rechazo Nueva.

En caso de que a Moa Nickel se le asignara el derecho de utilizar todos los recursos contenidos dentro de la Presa de Rechazo Nueva, se estima que el potencial de recursos a mover dentro de la Presa de Rechazo Nueva es de 7.6 millones de Recursos Totales que contienen 5.8 millones de Recursos útiles (-20 mesh). (Tabla No.4). (Hurra J., de la Guardia W. Romero A., 2002)

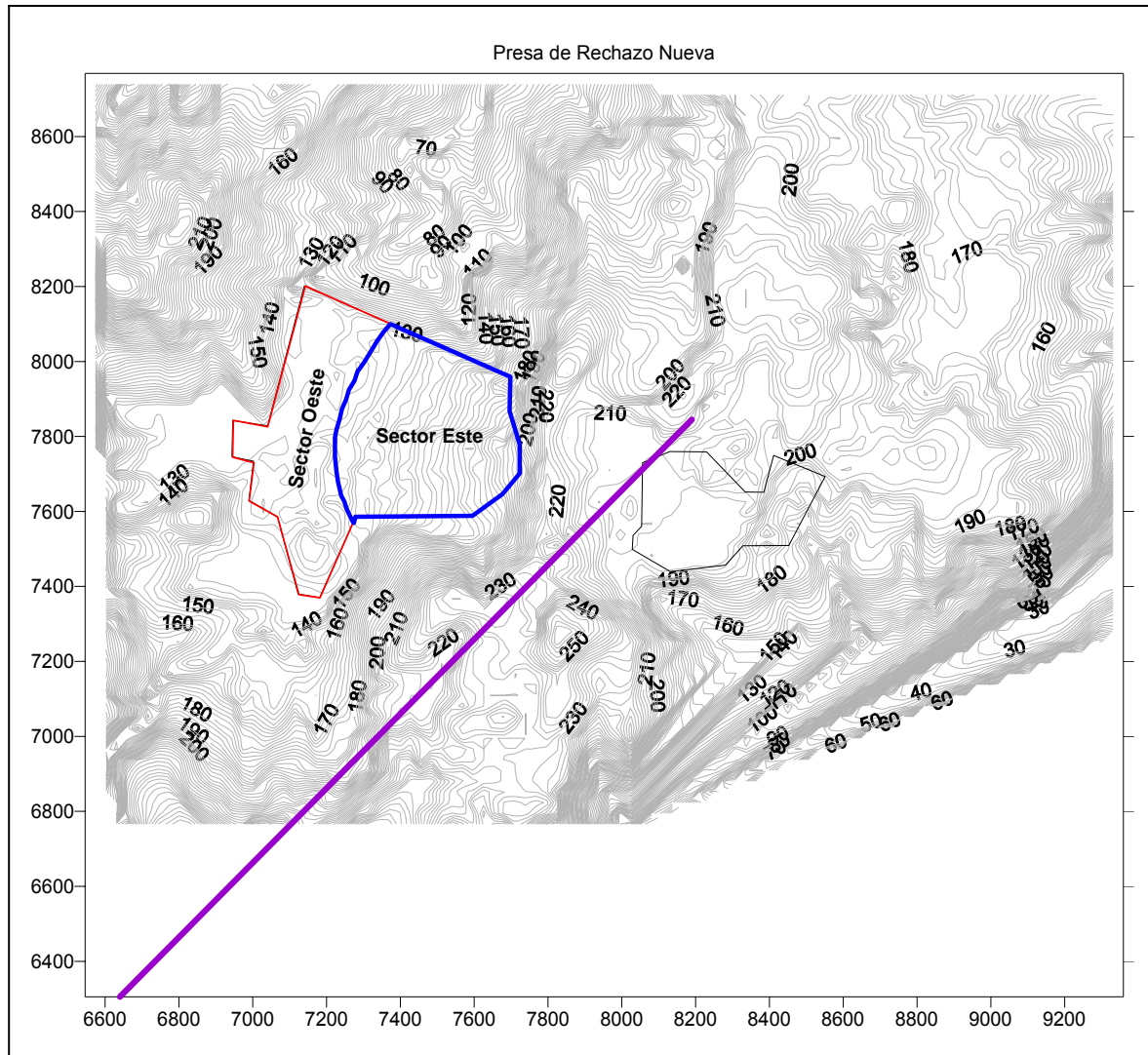
En la Tabla No.4 se muestra el potencial de recursos según la división de sectores. La división en sectores está basada en la variante asumida por Moa Nickel que se muestra en el plano de la Figura No.2.



**Tabla No. 4.** Estimación de Recursos Totales en los Sectores Este y Oeste de la Presa de Rechazo Nueva, hasta el nivel 121.

<b>Parámetros</b>	<b>Sector Este Total</b>	<b>Sector Este (-20 mesh)</b>	<b>Sector Oeste Total</b>	<b>Sector Oeste (-20 mesh)</b>
<b>Recursos</b>	4,955,700	3,467,400	2,655,500	2,318,200
<b>%Ni</b>		1.23		1.20
<b>%Fe</b>		43.4		43.4
<b>%Co</b>		0.12		0.12
<b>%SiO<sub>2</sub></b>		6.2		6.2
<b>%Mg</b>		1.7		1.5
<b>%Mn</b>		0.78		0.79
<b>%Al</b>		5.5		5.6
<b>Sedimentación</b>		155		161

**Figura No.2** División de la presa de rechazo en dos sectores o dominios.



## Evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos de los taludes de la Presa de Rechazo Nueva

### Introducción

La construcción de instalaciones y toda obra ingenieril en general, así como durante su periodo de explotación ubicadas en regiones o zonas de propagación o posible formación de deslizamiento

constituye un proceso complicado. La experiencia acumulada durante muchos siglos señala que los deslizamientos constituyen un fenómeno geológico amenazador y con frecuencia de grandes magnitudes en algunas regiones, los deslizamientos cambian de modo considerable el relieve de la superficie de la tierra, derriban los cultivos, alteran la estabilidad de las instalaciones, edificios, caminos, canales, ciudades entre otras instalaciones y obras, entre las que se incluyen las obras que se realizan para extraer de la corteza terrestre los minerales, tales como canteras y minas subterráneas, ambos afectan la estabilidad inicial, o sea el equilibrio del macizo rocoso y puede ocasionar en mayor o menor medida movimiento de masas de roca y suelo que pueden producir importantes pérdidas económicas y de vidas humanas.

El peligro de los fenómenos de deslizamiento consta no solo de las consecuencias que provocan, sino también de la propagación amplia y casi global. Estos fenómenos casi constantemente persiguen la actividad del hombre en las laderas y taludes y por eso la falta de estimación de algunas condiciones y circunstancias se pagan muy caras, por lo que enfatizamos su importancia desde la etapa de proyecto, como es el caso que se plantea.

### Mecanismo de debilitamiento de los taludes

Cada dislocación deslizante de las masas de rocas condiciona la destrucción del vertiente o talud. Sucede el efecto de la fuerza de gravedad y otras fuerzas y es posible solo en caso cuando los componentes de dislocación de la fuerza de gravedad superan la resistencia de las rocas en su conjunto o por la superficies existentes o potenciales o zonas de debilitamiento cuando resulta alterada la estabilidad, o el equilibrio límite de las masas de rocas, teniendo en cuenta estos principios de equilibrio límite de las masas de suelo es que se efectúa la evaluación de la susceptibilidad de los taludes a través de los cálculos del factor de seguridad, el equilibrio o estabilidad del talud están dado por la siguiente expresión:

$$\sum T = f \sum N + CL; \quad (1)$$

Donde:

$\sum T$ : es el componente sumario de la fuerza de gravedad P con tendencia a desplazarse la masa de roca cuesta abajo por el vertiente o talud.

$\sum N$ : es el componente sumario de la fuerza de gravedad P orientada normalmente a la superficie existente o supuesta de resbalamiento, con tendencia de retener las masas de rocas en el equilibrio.

$f$ : Coeficiente de fricción interna de las rocas por la superficie o en la zona de debilitamiento.

C: la adherencia o cohesión de las rocas por la superficie o en la zona de debilitamiento.

L: la longitud de la superficie existente o supuesta de resbalamiento.

Cuando este equilibrio queda alterado, resulta inevitable el desplazamiento lento o rápido de las masas de rocas. En este caso el coeficiente de su estabilidad será menos que 1, es decir,

$$1 > \eta = \frac{f \sum N + CL}{\sum T} \quad (2)$$

Donde  $\eta$  es el coeficiente de estabilidad igual a la relación de la resistencia sumaria a la dislocación por la superficie existente o supuesta de resbalamiento y la suma de esfuerzos de dislocación a lo largo de esta superficie.

En la zona de estudio es posible la alteración del equilibrio de los taludes debido a un gran número de factores tales como:

El debilitamiento de la resistencia del material a consecuencia del cambio de su estado físico, al humectar, hinchar, compactar, erosionar, alterar el estado de equilibrio.

La acción de las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas sobre las rocas, que causan el desarrollo de deformaciones de filtración (erosión subterránea, abultamiento del suelo, transición al estado fuente, etc.).

Estas inestabilidades se producen a través de una superficie de resbalamiento que son los efectos exteriores: carga del vertiente o talud, así como los tramos adyacentes a sus bordes, las oscilaciones micro sísmicas y sísmicas, etc. Estos también son factores que inciden en la estabilidad futura de los bancos la Presa de Rechazo.

La superficie de resbalamiento, es un elemento obligatorio de la estructura del deslizamiento, la superficie por la cual sucede el desprendimiento de las masas deslizables y su resbalamiento. Los deslizamientos pueden tener una o varias superficies de resbalamiento, determinando por la complejidad de su estructura. Para proponer el método de explotación adecuado nos hemos propuesto determinar el factor de seguridad de los bancos y taludes que tendrá la explotación de la presa, por los métodos de equilibrio límite específicamente el método de las Dovelas con superficie cilíndrica redondas, ya que esto es un material que por sus propiedades físico mecánica de las rocas (como se argumenta en el Capítulo II) se considera un suelo.

### **Método de cálculo del Factor de seguridad de los taludes o bancos**

Para evaluar la susceptibilidad a los deslizamientos en los taludes de la Presa de Rechazo se tuvo en cuenta las causas de formación y condiciones que favorecen su desarrollo, función del estado de equilibrio de las rocas constituyente cada talud que posee cierta movilidad que se manifiesta en el relieve del tramo deslizante, en el cambio de su estructura interior y en la alteración de la estabilidad del terreno. Todo esto permite hacer la evaluación cualitativa y cuantitativa de la estabilidad de los taludes o bancos.

En este capítulo la tarea fundamental es la evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos, de los taludes o bancos de la Presa de Rechazo Nueva, perteneciente a la Empresa Minero- Metalúrgico Cdte. Pedro Soto Alba Moa Nickel S.A. Para ello se evalúa la estabilidad de los taludes usando el método grafo- analítico, según el principio mencionado anteriormente, construyendo los taludes a escala y calculando el factor de seguridad de cada talud o banco para diferentes alturas y ángulos del pie del talud, resultados indispensables para proponer el método de explotación a emplear. Usando:

Para el ángulo  $45^{\circ}$ : alturas de 1m, 2m, 3m.

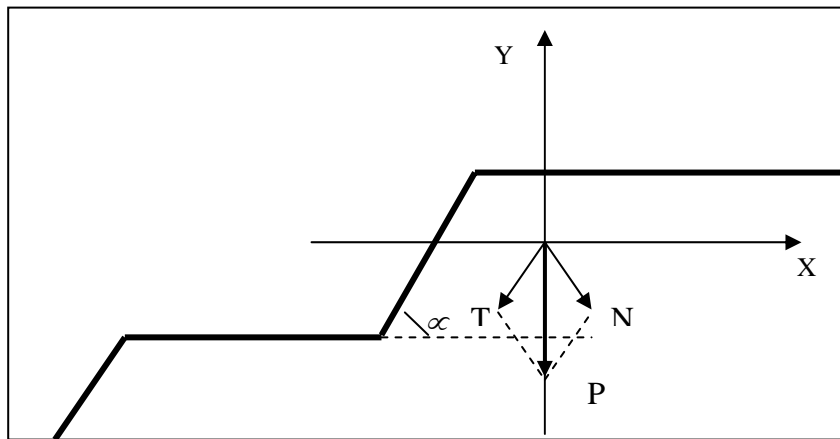
Para el ángulo  $60^{\circ}$ : alturas de 1m, 2m, 3m.

Para el ángulo  $75^{\circ}$ : alturas de 1m, 2m, 3m.

Para el ángulo  $90^{\circ}$ : alturas de 1m, 2m, 3m.

Para la realización de los cálculos se divide en dovelas toda la zona que es propensa a deslizarse, o sea que está dentro de la superficie de fallo. Estas dovelas poseen un diámetro de  $0.1R$ , donde  $R$  es el radio de curvatura, que se ubica de forma aleatoria y se mide gráficamente.

El factor de seguridad se determina, como se ha expresado anteriormente, mediante el equilibrio de fuerzas en la superficie de fallo, o sea, descomponiendo las fuerza de gravedad y calculando las resultantes normales y tangenciales a dicha superficie, para ello es necesario ubicar el centro de masa de cada dovela, donde se encuentra el peso de la misma, que no es más que:  $W = V \cdot \gamma$ ; siendo  $V$ , el volumen del material deslizado, que se determina como el producto del área por 1m de profundidad. Posteriormente con los valores del peso, se calculan las resultantes normales y tangenciales a dicha superficie de resbalamiento y con el empleo de la expresión Número 2 se calcula el factor de seguridad. Tabla No. 6. (Cartaya, P. M y Hernández, T. Y.)



**Figura No.3** Esquema de las fuerzas que actúan dentro de los límites del vertiente o talud.

**Tabla No.5** Factor de seguridad para diferentes taludes, ángulos, y alturas.

TALUD (#)	ANGULO (grados)	ALTURA (metros)	FACTOR DE SEGURIDAD( $\eta$ )
1	45	1	0.755
	60		1.009
	75		0.802
	90		0.768
2	45	2	1.001
	60		1.000
	75		0.260
	90		0.257
3	45	3	0.804
	60		0.982
	75		0.256
	90		0.260

De los resultados obtenidos del factor de seguridad se puede concluir que el mayor por ciento de los taludes se comportan inestables esto esta dado por las propiedades físico – mecánicas del material, ya que es un material muy saturado y poco cohesivo.

En el Anexo No.2- se muestran los esquemas y fórmulas que se utilizaron para la determinación del factor de seguridad.

En el Anexo No.3 se muestran los resultados de los diferentes parámetros para el cálculo del factor de seguridad para cada talud o banco según las particularidades de altura y ángulos planteadas y su dependencia.

### **Análisis de la estabilidad de los taludes durante el minado del material de rechazo**

Para el análisis de la estabilidad de los taludes que, producto del minado del rechazo, se establecen en el área de trabajo se ha tenido en cuenta el caso más general de talud cargado en su corona con el peso que proporciona la retroexcavadora Liebherr 964B (65 ton) (Ver Anexo No. 4), profundidad del manto freático según definen los informes de las perforaciones por zonas, las propiedades mecánicas determinadas por los ensayos, ángulos de talud casi verticales (71.5° y 76°), así como la acción sísmica definida para Moa con una aceleración de 0.125g.

El cálculo de la estabilidad se efectuó a través del programa SLOPE/W versión 3 de la GEO-SLOPE Internacional Ltd., con esquema de corte de superficie circular de deslizamiento y usando los métodos ordinario y riguroso de Bishop así como el de Janbu. Se estudiaron todas las zonas obteniéndose los resultados que aparecen a continuación. Ver Tabla No.6.(Colectivo de autores, Geominera de Oriente, 2004)

**Tabla No.6** Factor de seguridad para diferentes zonas y propiedades.

ZONA	PROPIEDADES					FACTOR DE SEGURIDAD		
	H (m)	$\alpha$ (°)	Cu (Kpa)	$\phi$ (°)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	Sin sobrecarga y Sin sismo	Con sobrecarga y Sin sismo	Con sobrecarga y sismo
1	3	71.5	29	3	18.84	1.816	-	0.142
2	4	76	15	35	19	1.61	0.45	0.353
3	4	76	0	35	18.27	-	0.139	0.241

#### **Zona 1**

En esta zona se analizaron dos casos:

- Sin Sobrecarga. Sin sismo.
- Con Sobrecarga y Sismo.

Los resultados arrojados para el primer caso (Sin sobrecarga. Sin sismo) dan factores de seguridad estables. Cuando se le adiciona la carga producto de la retroexcavadora en la corona del talud además del sismo (Con sobrecarga y Sismo) los taludes se comportan en extremo inestables. Se hace evidente que en esta zona el minado con el equipo de análisis es inseguro.

#### **Zona 2**

Se analizaron tres casos:

- Sin Sobrecarga. Sin sismo.
- Con Sobrecarga y Sismo.
- Con Sobrecarga sin Sismo.

Para los tres casos los factores de seguridad se comportan muy inestables. En esta zona también resulta imposible el minado por la técnica tradicional usando la retroexcavadora de referencia.

#### **Zona 3**

Se analizaron dos casos:

- Con Sobrecarga sin Sismo.
- Con Sobrecarga con Sismo.

También estos dos casos, al igual que todos los anteriores, se presentan inseguros los factores de seguridad. De esta manera, cualquier operación de minado en esta zona es insegura. (Colectivo de autores, Geominera de Oriente, 2004)

Se hace evidente que el minado en estas condiciones no es posible y se hace necesario realizar un estudio particular para decidir la técnica y la tecnología a usar para el minado del rechazo con niveles de seguridad aceptables.

### **Análisis de la Capacidad Soportante en la Presa de Rechazo**

El equipamiento con que cuenta actualmente la planta para el minado material de esta presa consiste de excavadoras retroexcavadoras marca Liebherr serie 964B y valorando el equipamiento con que contaba anteriormente a parte de la retroexcavadoras marca Liebherr se utilizaba la excavadoras tipo Dragalina serie ESH 6/45, se realizara también una valoración para este caso. (Colectivo de autores, Geominera de Oriente, 2004)

El cálculo de los esfuerzos verticales que producen las mismas siguiendo el esquema de Boussinesq es el siguiente:

#### **Para retroexcavadora:**

Considerando que esta transmite una presión de contacto por cada una de sus esteras de  $96 \text{ KN/m}^2$  (con una distancia media centro a centro de cada estera de 3.2 m), los valores arrojados fueron de 41, 23 y  $16 \text{ KN/m}^2$  a las profundidades de 1, 2 y 3 m respectivamente.

Considerando el área total de las dos esteras como un rectángulo equivalente con la misma carga (65 t), que corresponde al caso más desfavorable de cálculo de los esfuerzos debidos a la carga impuesta producto de la gran área de apoyo (aun cuando la presión que se transmite es menor,  $36 \text{ KN/m}^2$ ), los valores de los esfuerzos arrojados son de 42, 31 y  $22 \text{ KN/m}^2$  a las mismas profundidades, lo que evidencia valores mayores que el caso de que se tuviera en cuenta superposición de efectos al considerar ambas esteras separadas a profundidades mayores que el ancho de las mismas (0.75 m).

#### **Para la dragalina:**

Se consideró una presión de contacto de  $77 \text{ KN/m}^2$  repartida uniformemente en un plato circular de 7 m de diámetro, arrojando valores de 75, 70 y  $55 \text{ KN/m}^2$  para las mismas profundidades. En este caso los esfuerzos transmitidos al rechazo resultan algo elevados y son el producto de la gran área de apoyo, lo cual hace que los esfuerzos se transmitan a una mayor profundidad.

Teniendo en cuenta lo anterior para la retroexcavadora y la dragalina, en el análisis de la capacidad de carga, se han considerado los datos de las propiedades mecánicas arrojados en cada zona usando el modelo de Terzaghi, teniendo en cuenta la presencia del equipo sobre esta superficie y usando un factor de seguridad de 3 contra la falla por estabilidad.

### **Zona 1**

#### **Para la retroexcavadora:**

Si se consideran áreas aparte de cada una de las esteras de 0.75 m de ancho, la capacidad soportante del rechazo, considerando esta en la superficie del terreno, es de  $54 \text{ KN/m}^2$  para los datos aportados por el Triaxial no drenado. Al comparar la presión actuante ( $96 \text{ KN/m}^2$ ) con las admisibles, estas últimas están por debajo lo cual indica que la retroexcavadora inducirá el fallo por capacidad de carga del rechazo y no podrá operar sobre el mismo.

Para el caso de considerar la carga de la retroexcavadora como un rectángulo equivalente, la presión sobre el rechazo se reduce a  $36 \text{ KN/m}^2$ , pero, aun así, la operación del equipo es insegura y deberá evitarse.

#### **Para la dragalina:**

La capacidad de carga del rechazo para este equipo, sobre esta zona, se mantiene igual que en el caso de la retroexcavadora, independientemente de los esquemas de ensayo usados (Triaxial o cortante directo), ya que, al arrojar valores bajos de los parámetros mecánicos  $c_u$  y  $\phi_u$ , no hay un incremento de la capacidad de carga aun con el incremento del área de apoyo de la dragalina.

#### **Zona 2**

En esta zona, teniendo en cuenta la resistencia al esfuerzo cortante arrojado por los ensayos de corte directo no drenado, se presenta favorable para el emplazamiento tanto de la retroexcavadora como para la dragalina. Presenta una alta capacidad soportante con altos pesos volumétricos y bajos valores de la humedad natural en comparación con otras zonas, aun cuando su saturación se presenta alta.

#### **Zona 3**

Si se considera como el caso más inseguro el esquema de corte directo del material de rechazo, la operación de ambos equipos no se presenta segura a largo plazo, pudiendo existir falla del mismo. Los valores arrojados por los ensayos triaxiales revelan valores más altos de la capacidad de carga, pero, teniendo en cuenta las posibles alteraciones que pudieran haber sufrido las muestras, es aconsejable seguir los datos del corte directo sin drenaje para esta zona.

### **Sistema de explotación para la Presa de Rechazo Nueva**

El sistema de explotación utilizado en la minería de los yacimientos lateríticos de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nickel S.A se utilizó como variante base para la explotación del mineral ubicado en las presas de rechazo, además se analizaron las variantes de explotación a través de bombas de lodo, y de un sistema de transportadores móviles (métodos hidráulicos y métodos mecánicos) que descargaban al transportador principal denominado CO-8, la excavación en este caso se podía realizar con las excavadoras actuales o con otros modelos. Las dos últimas variantes se desecharon debido a los elevados costos capitales que implicaban su utilización; de operaciones en el primer caso y de las inversiones capitales en el segundo, por ejemplo: Excavadora de rotor-Transportador  $0,78\$/t$ , Excavadora-Transportador  $0,43\$/t$ .

Se tomó la decisión de analizar la posibilidad de utilización del equipamiento y del sistema de explotación actual variando los parámetros principales considerando las características del material depositado en la presa de rechazo. Que implicaría utilizando Excavadora- Camión articulado  $0,85\$/t$ . (Knight Piésold ,2004.)

#### **Fundamento del método de explotación seleccionado**

Las características de la presa expuestas al principio de este trabajo no permiten otro método que no sea a Cielo Abierto. En este caso considerando la potencia máxima del mineral de la presa que se concentra en su parte central y oscila entre 25 y 45 m y las características del equipamiento minero disponible, se decidió utilizar el sistema de explotación por bancos, utilizado ya en los últimos tiempos en la minería de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nickel S.A.

Valorando las condiciones de estabilidad de los taludes de la presa de rechazo para determinar sus parámetros de explotación. El desarrollo de la minería en la presa de rechazo nueva, se realizará por frentes continuos a través de los bancos múltiples de este a oeste y en cada banco va a realizarse de sur a norte, en sentido a la pendiente del terreno, las excavadoras van a moverse de sur a norte y



viceversa. De tal forma que se aproveche cada vez más la distancia a los caminos de transporte del material dentro la presa. (Anexo No. 3).

Durante el trabajo con la retroexcavadora el talud de explotación tendrá un ángulo de 60°, considerando los resultados obtenidos del cálculo del Factor de seguridad, que para los ángulos de 45° y 60° y altura de 2m el talud se comporta estable. (Cartaya, P.M, Polanco, A. R. y Hernández, T.Y. 2005).

El talud de los bancos en su etapa de inactividad al final de la explotación del mismo será igual al talud de la etapa de explotación (60°) contrariamente a lo que sucede durante la extracción del mineral in situ, cuando estas magnitudes son diferentes. Otra diferencia de este sistema con el tradicional consiste en las bermas de seguridad entre bancos de explotación, que en este caso se tomarán de 4 m, considerando la erosión que debe ser mayor que en el mineral in situ.

### **Capacidad de producción de la Presa de rechazo nueva**

Las características físicas y químicas del material de rechazo acumulado en la Presa de Rechazo Nueva (granulometría y contenido de elementos nocivos) impide superar el 10% de la alimentación diaria a la Planta de pulpa, por ese motivo todos los cálculos se realizarán referidos a esta cifra.

La capacidad de producción está sujeta al cumplimiento de las necesidades de Níquel dosificado, en aras de obtener los contenidos de Níquel y Cobalto dentro de las especificaciones del proceso metalúrgico, así como de un aprovechamiento máximo de las capacidades de los equipos en el turno de trabajo. La explotación de la presa durará bajo estas condiciones 22 años debido a la cantidad de mineral que dispone. El tiempo de explotación puede variar en dependencia de la capacidad de producción que se planifique de acuerdo al por ciento de su alimentación para la planta de pulpa.

### **Cálculo de la cantidad de mineral a extraer para lograr las 33000 t de sulfuro de Ni+Co.**

$$V_p = \frac{Q_f}{(M_{pNi} + M_{pCO})/100 * EM * EP}$$

$$V_p = \frac{33\ 000}{(1.19 + 0.141)/100 * 0.85 * 0.9}$$

$$V_p = 3\ 070\ 388,66t$$

De este resultado se infiere que la alimentación diaria del material de rechazo no debe sobrepasar las 1000t/día y debe ser alimentado observando rigurosamente las proporciones exactas con el mineral alimentado desde los frentes de minería in situ. Esta dosificación se pretende lograr descargando el mineral procedente de la presa de rechazo en Depósito Norte y realizando su alimentación con el cargador frontal WA 600.

### **Drenaje**

Por el efecto desestabilizador que posee el agua, que es además el principal medio de transporte de la contaminación, se diseñará un sistema de drenaje eficaz que impedirá la entrada de agua superficial mediante canales de desvío dispuestos aguas arriba. Todo el sistema de drenaje se dirigirá hacia la laguna de sedimentación que se construirán en los perímetros de los extremos inferiores de la presa de rechazo.

### **Arranque y carga**

Esta operación consiste en extraer de la presa de rechazo nueva el material para su posterior transportación a la planta de pulpa, serán realizadas por retroexcavadoras de tipo HYUNDAI R450-

LC-7, este equipo no fue incluido en la evaluación del equipamiento minero de arranque y carga disponible de Moa Nickel S.A (realizado por la Empresa Geominera de Oriente para determinar su capacidad soportante para ser empleadas en la extracción del material de la Presa de Rechazo Nueva) porque en esta etapa no se contaba con tal equipo.

Como resultado de esta evaluación en ningún caso analizado en todo el embalse, los cortes a efectuar para el minado del rechazo demostraron ser estables bajo condiciones de talud cargado con inclinaciones de 71.5° y 76°, con alturas de 3 y 4 m y con carga aplicada en su coronación para la retroexcavadora Liebherr 964B de 65 toneladas.

También se contará de forma auxiliar con un bulldozer KOMATSU D85 para amontonar el material, cuyos parámetros técnicos serán dados en anexos. (Ver anexo No.5)

El método de arranque y carga utilizado es desde el nivel superior, lo que permitirá una disminución sensible en la duración del ciclo de trabajo de ambos equipos y su operación se hace menos compleja.

### **Transporte**

Esta es la actividad que posee en la actualidad una mayor repercusión económica sobre el ciclo de explotación, y que puede cifrarse entre el 40 y el 60% del costo total incluso de la inversión en equipos principales. Esta operación se basa en el traslado del material hasta la planta de pulpa, la misma será realizada por camiones articulados de tipo (VOLVOS BM A40D). (Ver anexo No.5), el movimiento del transporte dentro de los límites del laboreo es abierto..

### **Apertura de la presa**

El método de apertura se encuentra estrechamente vinculado con el sistema de explotación, con el tipo de transporte, condiciones de yacencia del cuerpo mineral y el régimen de trabajo. Por ello la proyección de apertura representa una tarea muy compleja, en la cual varios factores determinantes no pueden ser valorados cuantitativamente, lo que se hace más complicado por su carácter dinámico, puesto que la misma se desarrolla durante todo el periodo de explotación y habitualmente se modifica en dependencia de las condiciones concretas de un banco u otro.

La ubicación de la Presa de Rechazo aprovechando una depresión importante del terreno en una zona de topografía abrupta impide la realización de caminos de acceso en las áreas aledañas a la presa, por ese motivo la apertura para su explotación se realizará a través de un acceso principal hasta la zona de trabajo con pendiente de 12 % ejecutado sobre el mismo material de rechazo depositado, a partir de este acceso en la cota +180 se llegará a cada banco de trabajo a través de un sistema de trincheras sucesivas con los siguientes parámetros: Ancho – 15 m; Pendiente – 12 %, Longitud – 16 m.. Altura del banco – 2 m. (Figura No. 10).

Debido a la pendiente abrupta que adoptó el material de rechazo acumulado en la presa las dimensiones de los bancos superiores son muy reducidas, trayendo como consecuencia dificultades para las operaciones del equipamiento minero, ello significa que el esquema de trabajo en estos bancos será cerrado; en la medida que la minería descienda las áreas de trabajo irán aumentando progresivamente hasta abarcar toda el área de la presa en la cota 126 y la distancia recorrida por los camiones cargados aumenta con la consiguiente disminución de la productividad. Este aspecto se consideró en los cálculos utilizando para toda la etapa la distancia promedio.

### **Parámetros de diseño de la Mina**

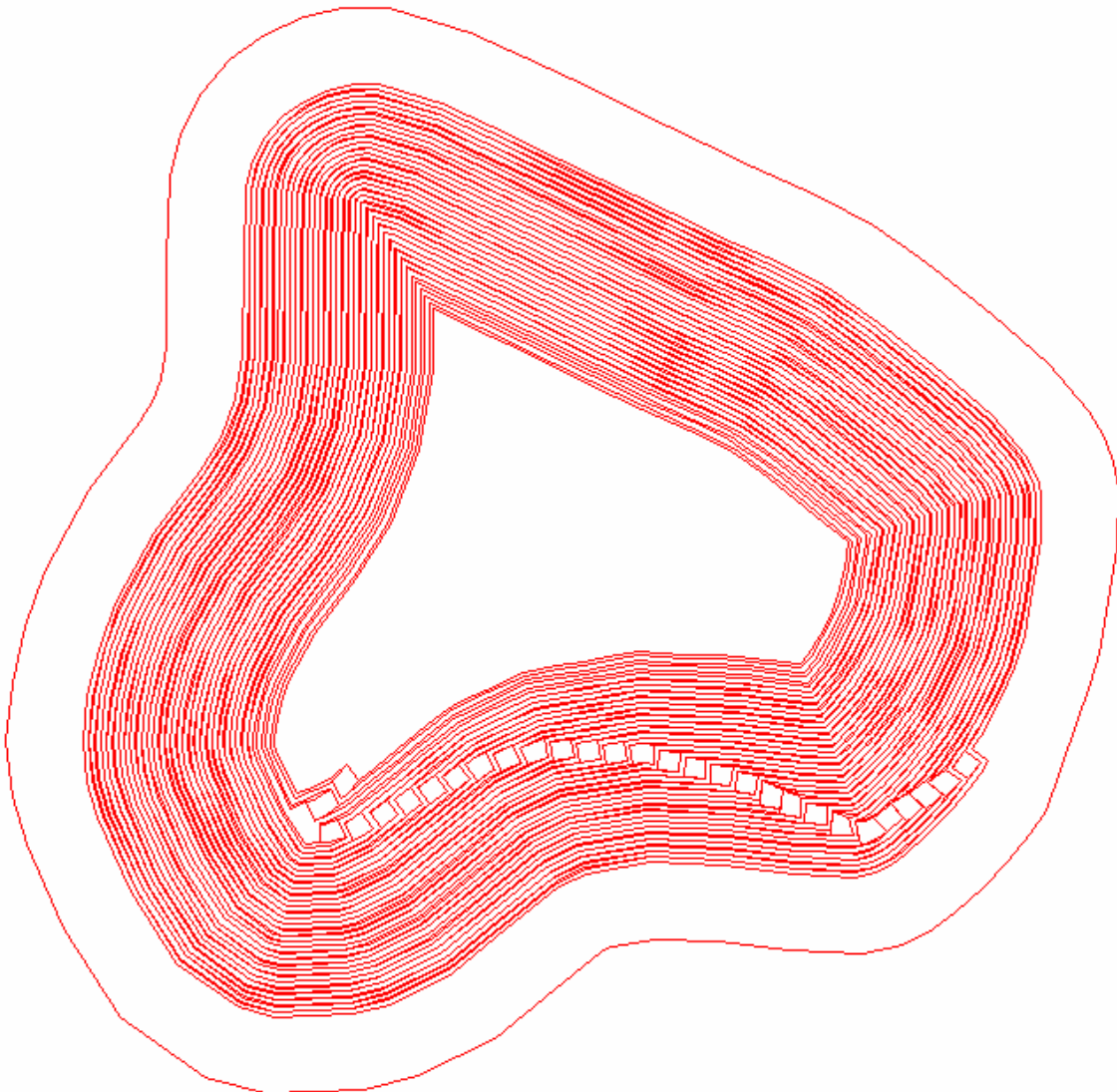
El procedimiento para realizar la explotación queda definido por la aplicación de los parámetros o criterios de diseño de la excavación, que permite alcanzar las producciones programadas, de la forma más económica posible y en condiciones de seguridad, y evaluar en la etapa inicial las reservas explotables. (Ver Figura No.10)

Parámetros geométricos que configuran el sistema de explotación:

### **Banco**

Es el escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la capa de mineral que se explota y que es el objeto de excavación desde un punto de espacio hasta una posición final preestablecida. Los bancos serán divididos en bloque para su explotación de 8x8x2m (ancho, largo y profundidad).

**Figura No. 4** Diseño de la apertura de la presa de rechazo.



### **Altura del banco**

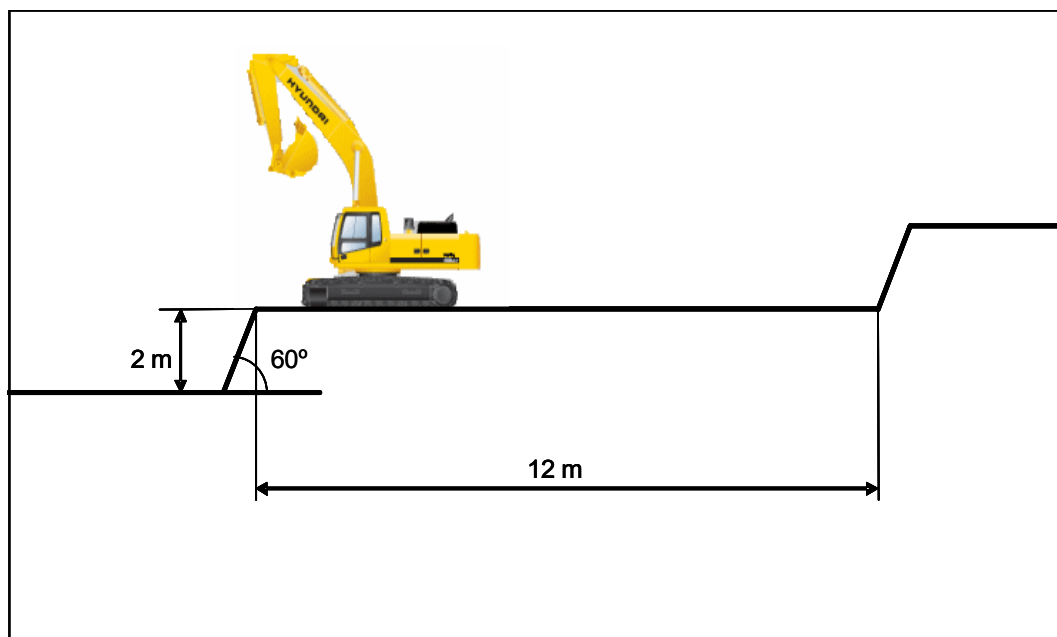
Es la distancia vertical entre dos niveles, la misma se establece a partir de las dimensiones de los equipos de excavación carga, las propiedades físico-mecánica de la mena, las condiciones de yacencia, la cantidad de horizontes de trabajo simultáneos, y fundamentalmente la altura máxima que alcanza el cubo o cuchara de la retroexcavadora.

En nuestro caso teniendo en cuenta la estabilidad de los taludes o bancos tendrá una altura de dos metros, a pesar de que el alcance máximo de la retro es de 5 metros, tomamos la de 2 metros (Ver Figura No.7) por la inestabilidad del macizo, y por las ventajas que nos ofrece tales como:

- ⇒ Mejores condiciones de seguridad durante los trabajos debido al incremento de la estabilidad del banco.
- ⇒ Mejores condiciones de seguridad para el personal y para las máquinas pues el alcance de la retro permite un mejor saneo del frente así como mejores condiciones durante las operaciones de arranque y carga inferiores.
- ⇒ Mayor rapidez en la ejecución de las trincheras de acceso y en la preparación de nuevos horizontes y permite una disminución del volumen de trabajos de la misma.
- ⇒ Mejores condiciones durante los trabajos de rehabilitación de las zonas minadas.

### **Ancho de la plazoleta de trabajo**

Se considera la suma de los espacios necesarios para el movimiento de los equipos que trabajan simultáneamente en el banco. Cuando la carga se realiza desde el banco superior, el ancho mínimo de la plataforma es de 12 metros. (Ver Figura No.4)



**Figura No. 5** Sección típica del banco de trabajo con Retroexcavadoras HYUNDAI R450LC7.

## Otros índices fundamentales del sistema de explotación

### Velocidad de desplazamiento del frente de arranque

$$V_{fa} = \frac{Q_{exc}}{A * h}$$

$$V_{fa} = \frac{3769,2}{8 * 2}$$

$$V_{fa} = 235,57m / mes$$

### Velocidad de desplazamiento del banco

$$V_{fe} = 12 * \frac{Q_{exc}}{L_b * h}$$

$$V_{fe} = 12 * \frac{47490,24}{200 * 2}$$

$$V_{fe} = 118,72m / mes$$

Donde:

$Q_{exc}$  – productividad de la excavadora: 47490,24m<sup>3</sup>/mes.

Los valores de estas magnitudes son solo teóricos, ya que como se explicó anteriormente la explotación será discontinua.

## Régimen de los trabajos y plazo de explotación de la presa de rechazo nueva

El régimen de trabajo en la presa es discontinuo, o sea no están definidos los días laborables en cada mes, el programa de producción contempla hasta 40 días improductivos al año, provocados por intensas lluvias que ocurren en la etapa invernal, en este periodo de tiempo la alimentación se realiza desde los depósitos.

Las condiciones de trabajo en la presa de rechazo (distancia de transportación L= 1,8Km, pendiente i = 12%) y las características del equipamiento permiten extraer 4000t/día en un día de operaciones, ello permite crear una reserva de este material suficiente para la alimentación de cuatro días a la Planta de Pulpa. Proponemos un régimen de trabajo que prevé la extracción en la presa de rechazo cada tres días es decir 96 días de trabajo al año (3,2 meses), 8 días al mes y para no tener necesidad de todos los días trasladar los equipamientos a la presa por 1000t/días, se decidió extraer 4000t, cada 3 días.

### Planificación de los turnos de trabajo y fuerza laboral

La organización de las operaciones mineras y de mantenimiento prevé dos turnos de 12 horas cada 3 días, las brigadas de construcción de caminos trabajarían en dependencia de las condiciones de los caminos al concluir cada turno, por estar construido el camino con el mismo material de rechazo.

Cada trabajador tiene derecho a descansar 15 minutos del turno para tomar la merienda, 1h del turno de día para almorzar, en cuanto al cambio de turno a los operadores de equipos y choferes de tiro de mineral salientes se entregarán los equipos personalmente y directo en el área de trabajo en 15 minutos.

### Determinación de la duración de la explotación de la presa

$$Nd = \frac{R_{presa}}{CP_{presa}}$$

$$Nd = \frac{7413093}{1000}$$

$$Nd = 7413,093 \text{ dias}$$

$$Na = \frac{Nd}{N} = \frac{7413,093}{336} = 22,06 \approx 22 \text{ años}$$

$$Nm = \frac{Nd}{M}$$

$$Nm = \frac{7413,093}{30}$$

$$Nm = 247,10 \text{ meses}$$

En dependencia del comportamiento de alimentación a la planta de pulpa (1000t/día) de la presa la duración de explotación de la misma variaría, pero para el caso actual, planificado para este año serían 22 años.

Las Reservas del sector por bancos fueron determinadas dados los parámetros de explotación propuesto mediante el Software Sistema Integral Minero (SIM) de dicha entidad. (De la Guardia, Wilfredo, 1998 ).

### CONCLUSIONES

Durante la realización del trabajo arribamos a las siguientes conclusiones:

- Otros sistemas de explotación no analizados en este trabajo ofrecen menores costos de explotación, pero requieren una inversión capital inicial muy elevada: Excavadora de rotor – Transportador 0,78 \$/t, Excavadora – Transportador 0,43 \$/t y Excavadora Liebherr – camión 0,85 \$/t.
- El sistema de explotación propuesto y probado para la presa de rechazo es similar al sistema aplicado para la minería convencional, con la variación de algunos de sus parámetros considerando las propiedades físico-mecánicas del material de depositado: Altura del banco: 2 m; Talud del banco: 60° y Ancho de la berma de seguridad entre bancos: 4 m.
- Para satisfacer las exigencias de alimentación al proceso metalúrgico la explotación de la presa de rechazo se realizará de forma discontinua, 2 turnos de trabajo cada 3 días.
- El equipo de carga utilizado (Retroexcavadora HYUNDAI R 450 LC 7 de 3 m<sup>3</sup>) no es el más racional para la explotación de los camiones articulados Volvo A40D, pero garantiza un mayor factor de seguridad en la estabilidad de los taludes.

- El costo de la extracción de 1t de material de rechazo (1,15USD/t) –a pesar de las complejas condiciones de su explotación- es varias veces inferior al costo de extracción del material in situ.(5.43 USD /t ).

## RECOMENDACIONES

- Aplicar los resultados del trabajo durante la explotación de la Presa de Rechazo Nueva de la Empresa Pedro Sotto Alba.
- Analizar la posibilidad de construir un camino de acceso con menor pendiente, aunque se incrementen los volúmenes de construcción.
- Analizar la posibilidad de incrementar los volúmenes de alimentación del material de Rechazo de la Presa Nueva.
- ➔ Crear franjas de bosques protectores a 5 m como mínimo en ambas márgenes del arroyo La Vieja, medidas en proyección horizontal a partir del borde del cauce natural de dicho cuerpo de agua.