



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”
FACULTAD DE GEOLOGÍA – MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

TRABAJO DE DIPLOMA

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO EN MINAS

Título: Índice de diseño de los parámetros de las minas
que permite disminuir la cantidad de desechos.

Autor: Geomel Vila Placeres

Tutores: Dr.C. Santiago Bernal Hernández
M.Sc. Bertha Díaz Hernández

Moa, 2012
“Año 55 de la Revolución”



DECLARACION DE AUTORIDAD

Yo: **Geomel Vila Placeres** autor de este Trabajo de Diploma y los tutores Dr.C. Santiago Bernal Hernández y M.Sc. Bertha Díaz Hernández, declaramos la autoridad intelectual del mismo al servicio del Departamento de Minería del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, para que dispongan de su uso cómo y cuando estimen conveniente.

Y para que así conste firmamos a continuación.

Geomel Vila Placeres

Diplomante

Dr.C. Santiago Bernal Hernández

Tutora

Ms. C. Bertha Díaz Hernández

Tutora

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la mujer más especial de mi vida a mi madre Maray Placeres Mesa.

A dos personas que por cuestiones de la vida no se encuentran dentro de nosotros ellos son mi padre Jesús y a mi tía Gloria Rabi.

A mi novia

A mis tíos Licet, Belkis, Paulino y Raúl.

A mis suegros por recibirme en su casa y tratarme como un hijo más.

A todos mis amigos, sobre todo a mi incondicional amigo Oscar García Noris.

A mis compañeros de aula, y a todos los que de una forma u otra me acompañaron en el cumplimiento de la tarea de ser dirigente de la FEU en estos tres años

A esta Revolución y a ti Fidel...

A todos...

Muchas Gracias

AGRADECIMIENTOS

Agradezco desde lo más profundo de mi corazón a la persona que me dio la vida, a esa mujer que más amo a mi madre Maray Placeres Mesa por apoyarme siempre en todas las decisiones que he tomado; a mi novia Legna Matos Ramos por estar siempre que la necesité; a todos mis amigos del aula por estos cinco intensos años llenos de experiencias vividas, y sobre todo a mis incondicionales amigos Oscar García Noris y Nayla Batista; a todo el claustro de profesores que nos formaron con el objetivo de llegar hasta aquí y cumplir ese gran sueño que era para muchos casi inalcanzable, a los amigos de la universidad y a todos con los que compartí una parte muy importante en estos cinco años ante el cumplimiento de la tarea que teníamos de ser dirigentes de la FEU por tres años. Agradezco infinitamente a mis tutores por su paciencia, consejos y todo el tiempo y empeño en la realización de mi trabajo.



RESUMEN

En este trabajo relacionando los parámetros de diseño de la mina con el vertimiento de los desechos al medio ambiente, se logra elaborar un índice de diseño de la mina. El Índice de la Cantidad de Desechos (ICD) que permite controlar y disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente. El que facilita diseñar los parámetros de la mina de cromo Victoria I controlando la reducción del vertimiento de desechos al medio ambiente de un 25 a 30, permitiendo determinar el perjuicio económico causado al medio ambiente por la unidad de desechos vertidos. El establecimiento del valor límite del ICD como el promedio de la rama permite que en la entrada en explotación de nuevos yacimientos la cantidad de desechos vayan disminuyendo

ABSTRACT

In this work, relating the designing parameters of the mine with the spill of the waste matter into the environment, it is been able to set a designing index of the mine. The index of Waste Quantity that it enables controlling and decreasing the quantity of waste matter that is poured to the environment. The one that makes it easy to design the parameters of the Victoria I chrome mine, controlling the reduction of the spill of waste matter to the environment of one 25 to 30, allowing to determine the cost-reducing damage once the ambient midway for the unit of poured waste matter was caused to. The establishment of the value the limit of the ICD like the average of the branch enables than in the entrance in the exploitation of new deposits the quantity of waste matter goes decreasing.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA DEL CONTROL DE DESECHOS EN LA MINERÍA A NIVEL INTERNACIONAL Y EN CUBA ..	4
1.1 Introducción	4
1.2 Antecedentes y tendencias actuales del control de desechos que se generan en la explotación de los yacimientos	4
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DEL YACIMIENTO	12
2.1 Introducción	12
2.2 Características Geográficas y Económicas de la Región	12
2.3 Características Geológicas del Yacimiento	13
2.4 Modelo geológico del yacimiento	13
2.5 Composición química del mineral	13
2.6 Propiedades físico-mecánicas del mineral	13
2.7 Características hidrogeológicas	14
2.8 Características de la zona mineral	15
2.9 Características cualitativas del mineral	16
2.10 Características del medio natural del área del proyecto. Descripción socioeconómica	16
2.10.1 Labores de apertura	18
2.10.2 Tala y desbroce	18
2.10.3 Tecnología de los trabajos	19
2.10.4 Preparación de las rocas para la extracción	19
2.10.5 Los trabajos de excavación-carga	19
2.10.6 Carga	20
2.10.7 Transportación del mineral y del estéril	20
2.11 Diseño de la minas	20
2.12 Diseño final operativo de la minas	20
2.13 Método y sistema de explotación	20
2.14 Descripción de los impactos	23
CAPÍTULO 3. ELABORACIÓN DEL ÍNDICE QUE PERMITA DISMINUIR LA CANTIDAD DE ESCOMBRO QUE SE GENERA EN LA EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE CROMO A CIELO ABIERTO	27



3.1	Consideración de los factores ecológicos en la determinación de los parámetros de diseño de la mina a Cielo Abierto	27
3.2	Indicaciones metodológicas para la aplicación del Índice de la cantidad de Desechos	28
3.3	Cálculo del volumen extraído de escombros de las minas.....	41
3.4	Teniendo en cuenta la fórmula del índice de la cantidad de desecho:	41
3.5	Profundidad de la mina partiendo del valor establecido del ICD	42
3.6	Determinación de la profundidad final del laboreo del yacimiento por el método a cielo abierto.....	42
CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CANTIDAD DE DESECHOS EN EL CASO DE ESTUDIO		44
4.1	Determinación de la racionalidad económica de la explotación a cielo abierto según el coeficiente de escombros límite H_k con la utilización del ICD (H'_k). ...	44
CONCLUSIONES GENERALES		49
RECOMENDACIONES		50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		51
ANEXOS		

DEFINICIONES

Cierre de Minas: Es un instrumento de gestión ambiental donde se establecen pautas a ser efectuadas por el titular de la actividad minera (empresa), a fin de rehabilitar las áreas utilizadas por éste. Se busca que la rehabilitación alcance características compatibles con un ambiente saludable, seguro y adecuado para el desarrollo de la vida. La rehabilitación se llevará a cabo mediante la ejecución del plan, el cual se establece de acuerdo a las características particulares de la mina.

Efecto ambiental negativo: Materialización de eventos que afectan negativamente la salud y seguridad de las personas y/o el medio ambiente.

Unidad Minera: Conjunto de instalaciones y lugares de trabajo de la industria minera, tales como minas, plantas de beneficio, fundiciones, refinerías, maestranzas, casas de fuerza, talleres, lugares de embarque y despacho y, en general, la totalidad de las instalaciones de apoyo necesarias para asegurar el funcionamiento de la industria minera.

Industria Minera: Designa a todas las actividades correspondientes a exploración de yacimientos, extracción, transformación, concentración, procesamiento, fundición de minerales, refinación y elaboración de productos intermedios, transporte, almacenamiento de desechos y embarque de minerales metálicos y no metálicos, y depósitos naturales de sustancias fósiles. Incluye, además, la apertura de túneles y otras excavaciones y construcciones realizadas por dicha industria que tengan relación con las actividades indicadas.

Instalación Minera: Todos los caminos y huellas, talleres, laboratorios, oficinas, campamentos e instalaciones anexas, almacenes de reactivos e insumos, tajos abiertos y minas, escombreras, túneles, chimeneas, piqueras, triturador primario, planta de trituración secundaria y terciaria, planta de molienda, planta de flotación, sedimentadores, estanques de agua de proceso, de reactivos, de ácido, pozos y captaciones de agua, estaciones de bombeo de agua, estanques de agua potable, tuberías.

Minimización de riesgos o efectos ambientales: Actividad que tiene por objetivo disminuir los riesgos y/o efectos ambientales negativos derivados del cese de las operaciones de una unidad minera y/o sus instalaciones, que no puedan ser evitados, sobre la salud y seguridad de las personas y el medio ambiente.

Titular u Operador minero: El titular u operador minero es la persona natural o jurídica que ejecuta labores para explorar, explotar y/o beneficiar un recurso mineral. El titular u operador minero puede corresponder al titular de una concesión minera o a un tercero.

Prevención de riesgos o efectos ambientales: Actividad que tiene por objetivo evitar que se produzcan riesgos o efectos ambientales negativos derivados del cese de las operaciones de una unidad minera y/o sus instalaciones, sobre la salud y seguridad de las personas y el medio ambiente.

Ciclo de vida de una mina: Constituye las etapas por la que transita la mina durante su desarrollo hasta la parada total de la misma.

Área de influencia: Es el área o espacio geográfico, cuyos componentes ambientales podrían verse afectados luego del cese de las operaciones de la unidad o instalación minera.

Cese de operaciones: Término de las actividades productivas de la faena o instalación minera.

Pasivos ambientales: Aquellas instalaciones abandonadas, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

INTRODUCCIÓN

La explotación de los yacimientos minerales viene acompañada de alteraciones al medio ambiente, la afectación de grandes áreas de terrenos ocupadas por la mina, por las plantas industriales, por las escombreras, vías de comunicación y depósitos de material de rechazo. Solamente bajo las escombreras y depósitos están ocupadas grandes extensiones de terrenos. Anualmente por este objetivo en la explotación de los yacimientos de cromo se afectan más de 6 hectáreas, junto con ello, están las afectaciones al aire, a las aguas tanto superficiales como subterráneas, al paisaje, a la flora, a la fauna, a los ecosistemas terrestres y marinos así como a la sociedad en que se desarrolla.

Situación problemática: el conjunto de impactos originados por la minería a cielo abierto de los yacimientos de cromo, en el diseño de los parámetros de la mina no se considera la minimización de los impactos ambientales originados por la cantidad de desechos, no hay control sobre la cantidad de escombros que se vierte al medio ambiente antes y durante la explotación, ambas actividades son valoradas de forma independiente, tal situación se refleja en las condiciones minero - técnicas complejas en que se entrega el campo de minas para su rehabilitación. Existen problemas dada la escasez de áreas para depositar los escombros y desechos debido al volumen que ocupan, por eso se recurre a la extensión de éstas sin considerar disminuir racionalmente el área afectada, ni los radios de influencia de la contaminación, ya que la sustentabilidad ambiental se reserva para el cierre, lo que trae como consecuencia que durante la vida útil de la mina se contamine el medio ambiente y luego el cierre no sea sostenible económicamente por los grandes y costosos movimientos de rocas mineras, por tanto los pasos en que se desarrollan las labores de restauración en muchos casos sea inferior a los de la explotación.

Por tal motivo el **problema** de la siguiente investigación radica en la necesidad de elaborar un índice de diseño de los parámetros de la mina que permita controlar y disminuir la cantidad de desechos que se vierten al medio ambiente.

Objetivo general.

Elaborar un índice de diseño de los parámetros de la mina que permita controlar y disminuir la cantidad de desechos que se vierten al medio ambiente.

Objeto de estudio:

Diseño de la mina.

Campo de acción:

Los índices para el diseño de los parámetros de la mina.

Hipótesis:

Si durante el diseño de las minas de cromo se relacionan los parámetros de la misma con la cantidad de escombros que se generará antes y durante la explotación de la misma, entonces podemos lograr un índice de diseño, que permita el control y disminución de la cantidad de desechos que se vierten al medio ambiente durante la explotación de los yacimientos de cromo.

Objetivos específicos:

- 1- Caracterizar el estado actual del diseño de los parámetros de la mina con la generación de desechos tanto internacionalmente como en Cuba.
- 2- Caracterizar el diseño de las minas en la explotación de los yacimientos de cromo.
- 3- Relacionar el diseño de los parámetros tecnológicos de la mina con la cantidad de escombros que se verterá durante la explotación de los yacimientos de cromo.
- 4- Aplicar al caso de estudio el control del Índice de Cantidad de Desechos (ICD).

Aporte Científico.

Un nuevo índice que permite relacionar los parámetros de diseño con la generación de desechos que se vierten al medio ambiente.

Aporte teórico.

Se elabora un índice de control de la cantidad de desechos que permite disminuir la cantidad de desechos desde el diseño de los parámetros de la mina y durante su explotación.

Actualidad, necesidad e importancia de la investigación:

El desarrollo de la actividad minera en nuestro país constituye una temática actual, donde el vertimiento de desechos se incrementa cada día más sobre todo en las zonas mineras y que se planifique la incorporación de proyectos futuros como es el caso de las minas de los yacimientos de cromo Victoria I y Victoria II, siendo una preocupación constante de especialistas disminuir la cantidad de desechos que se vierten al medio para hacer económicamente sustentable los futuros cierres de minas, sobre la base de parámetros técnicos de la explotación de la mina científicamente fundamentados y ajustados a los requerimientos de los trabajos en la minería y en la protección del medio. Con ello se logrará una mayor productividad, eficiencia, calidad y perfeccionamiento de los trabajos mineros y de rehabilitación en la explotación de los yacimientos de cromo de Camagüey y en el cierre de las minas.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA DEL CONTROL DE DESECHOS EN LA MINERÍA A NIVEL INTERNACIONAL Y EN CUBA

1.1 Introducción.

En este capítulo, se exponen los resultados de las investigaciones realizadas en cuanto al control de la cantidad de desechos que se generan durante la explotación de los yacimientos tanto en Cuba como internacionalmente.

1.2 Antecedentes y tendencias actuales del control de desechos que se generan en la explotación de los yacimientos.

Entre los primeros estudios realizados sobre el tema se señalan los de 1983 donde la recuperación de áreas degradadas, en países como Estados Unidos, Rusia, Italia y Canadá, se estableció de forma obligatoria, y pese a que el enfoque en estos países, difieren unos de otros, todos tienen un mismo objetivo que consiste en disminuir la cantidad de desechos para hacer rentables los futuros cierres, minimizando de esta forma los impactos negativos al medio ambiente. Estudios en los cuales no se tuvo cuenta establecer un índice que permita el control de la cantidad de desechos durante el diseño y explotación de la mina para minimizar los impactos ambientales.

La Asociación Minera de Canadá en (1983), desarrolló su primer plan de disminución de la cantidad de desechos pero no utilizó el concepto de diseño de los parámetros de la mina y de la explotación con vistas al futuro cierre: en la provincia de Columbia Británica, donde se implementó un Programa de protección ambiental y rehabilitación, de acuerdo a estándares prescritos en su código de salud, seguridad y rehabilitación de minas. En este Programa de protección ambiental y rehabilitación se otorgaron incentivos suficientes para minimizar costos y desarrollar técnicas renovadoras de rehabilitación de minas, sin exponer los fondos públicos en el proceso de rehabilitación y tratando de obtener una industria minera social y ambiental. Podemos decir que en dicho plan no se tuvo en cuenta la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente.

En el año (2000) el Proyecto elaborado por los autores Steve Roberts, Marcello Veiga y Carlos Peiter sobre los Aspectos Generales y de Recuperación de Minas en las Américas resumen los procedimientos para dichos trabajos, desde el punto de vista legal e institucional, en la regulación sobre la práctica de la Recuperación de minas analizando la evolución significativa en los últimos veinticinco años. Como respuesta a las cambiantes expectativas del público, el gobierno y la industria. Siendo necesario el aumento del estudio acerca del potencialmente negativo impacto que la minería puede tener en el ambiente que le rodea. En este trabajo se examina a groso modo las regulaciones y estructuras institucionales que los gobiernos Canadiense y estadounidense han adoptado como respuesta a la necesidad de recuperar áreas previamente explotadas. Estudios en los cuales no se tiene en cuenta la necesidad de la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente.

En el (2002) la Guía para la Elaboración y Revisión de los Planes de Cierre de Minas en Perú elaborada por el Ministerio de Energía y Minas, tiene como objetivos orientar a la industria minera en el desarrollo del plan de cierre en las diferentes etapas del proyecto minero, desde la etapa de desarrollo con la preparación de un plan inicial, el desarrollo de los planes finales cuando se acerca el final de la vida de la mina, con la preparación de informes de mantenimiento y monitoreo post-cierre. Para de esta manera orientar al personal de la Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA) del Ministerio una correcta revisión estandarizada de los planes de cierre presentados por las empresas mineras bajo diferentes escenarios, incluyendo el inicio del proyecto, el cierre temporal o el cierre final de una mina. Sirviendo como complemento técnico para la Revisión de Estudios de Impacto Ambiental. En este documento no se plantea la necesidad de la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente como forma de disminuir su impacto negativo en el mismo.

La Ley N° 28090 del (14-10-2003) aprobada por el Presidente del Congreso en Perú. Regula el cierre de minas, obligaciones y procedimientos que deben cumplir los

titulares de la actividad minera para la elaboración, presentación e implementación del Plan de Cierre de Minas y la constitución de las garantías ambientales correspondientes, que aseguren el cumplimiento de las inversiones que comprende, con sujeción a los principios de protección, preservación y recuperación del medio ambiente y con la finalidad de mitigar sus impactos negativos a la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad. Pero aun así no se cuenta con la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente.

En el año (2005) Ken Bocking en su artículo en la revista Minas y Petróleo señaló el adecuado planeamiento para el cierre de minas los cuales constituyen un elemento importante de gestión a lo largo del ciclo de vida de la mina, afirmó el expositor; quien resaltó que las medidas de cierre permiten mitigar los impactos potenciales del proyecto en el medio ambiente y en el entorno social y describió los procedimientos en el planeamiento para el cierre de minas en diversos países, en especial tocó el caso de la provincia de Ontario, Canadá, artículo en el cual no se hace referencia a la necesidad de lograr la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente.

La minería para la economía cubana, no constituía un renglón importante, hasta la primera mitad del siglo XX. El mayor auge en esta producción fue alcanzado poco antes de 1959, durante los períodos de confrontación bélicas, cuando comenzó a incentivarse esta actividad vinculándola a las guerras mundiales y a la de Corea.

El desconocimiento sobre el potencial minero del territorio nacional y la participación de inversionistas cubanos eran nulos, y por tanto el concepto de cierre de minas. Con el triunfo de la Revolución en 1959, se decide establecer un programa destinado a precisar y desarrollar el potencial minero del país. En el año 1961, se crea el Ministerio de Industrias, existiendo sólo dos geólogos cubanos, por lo que resultaba inminente desarrollar acciones en este sentido.

A pesar de los avances alcanzados en la planificación y ejecución de los proyectos mineros en nuestro país, el tema del cierre de minas es relativamente joven, sobre la creación y diseños de metodologías que faciliten alcanzar la sostenibilidad minera y la minimización de los daños que provoca al medio ambiente se ha escrito bien poco.

En el trabajo relacionado con las investigaciones realizadas por Montesino (1964) y Castro, G, (1964). Los autores realizan un análisis de las causas que condujeron al cierre de las minas de manganeso, El Cristo y Charco Redondo, respectivamente. Estos trabajos sirvieron de base al autor para el diseño de la metodología para la ejecución de un cierre de minas de modo sostenible. Pero no garantiza una correcta elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente.

En el año 1995 se crea el Centro de Investigación y Tecnología del Medio Ambiente y la Ley 76 de Minas y posteriormente la Ley 81 del Medio Ambiente. En este mismo año se confeccionó el proyecto de cierre de la mina “Oro Castellanos”, en el cual se realizó una caracterización de las reservas a explotar, el método de explotación utilizado, las innovaciones tecnológicas, los aspectos medioambientales. Sin tener en cuenta la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierten al medio ambiente.

Según Guerrero, 2000, desde la etapa colonial, se conocen en Cuba más de ciento cincuenta minas explotadas, y la totalidad de estas se encuentran abandonadas o cerradas, ubicadas gran parte de ellas en la zona oriental del país. Las medidas técnicas para cierres comenzaron a aplicarse desde los años sesenta hasta los noventa, no fue hasta después de 1995 que los cierres de minas comenzaron a regirse por la Ley 76 de Minas y su Reglamento. Pero se continúa sin considerarse una elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierten al medio ambiente.

En el año 2002, se hizo efectivo el cierre de la mina El Cobre, como consecuencia de cinco siglos de trabajos mineros, teniendo en cuenta la degradación del ecosistema de toda el área que ocupa el campo mineral así como por factores técnico - económicos. En correspondencia con la Ley de Mina y otras leyes en este proyecto se exigió la ejecución de la rehabilitación de las áreas minadas y a la vez lograr la conservación del patrimonio y cultura minera del territorio, sin tener en cuenta la necesaria elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierten al medio ambiente.

Para la ejecución de este cierre se confeccionó un proyecto con el objetivo de transformar el entorno degradado y hostil en un medio ambiente más agradable y útil, no sólo como medio físico, sino también para el disfrute ulterior del propio hombre y el resto de las especies vivas; teniendo en cuenta la rehabilitación de las áreas degradadas por la minería, la conservación del patrimonio y cultura minera de la región, garantizando de esta forma el desarrollo sostenible. Sin embargo, pese a tantos años de explotación esta empresa no estaba preparada para un cierre brusco, sobre todo por el impacto social que creó esta situación y por el hecho de no existir fondos financieros creados para ejecutar las actividades de cierre. No se estudia la posibilidad de realizar con anterioridad, la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierten al medio ambiente.

En el año 2002 Vega, propuso una metodología para el cierre parcial de los yacimientos lateríticos, mediante la elaboración de un plan de cierre preparado durante el diseño y desarrollo de las operaciones mineras, en el cual se identifiquen los problemas, el enfoque, los objetivos y costos de cierre; en la medida en que se van agotando los sectores en las diferentes fases de la minería que prevé el proyecto de explotación, partiendo de los documentos que rigen la actividad y del análisis del sistema de explotación del yacimiento Moa Oriental. Sin tener en cuenta la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierten al medio ambiente.

En el 2002, fue confeccionado el proyecto de cierre de las actividades mineras en el yacimiento Nicaro, por el CEPRONÍQUEL¹ y la ejecución del mismo se comenzó en el mes de abril del año 2005 culminando en diciembre del 2007. El mismo abarcó la minimización y control de los riesgos y efectos negativos generados posterior al cese de las operaciones mineras, sobre la salud y seguridad de las personas, el medio ambiente, y la recuperación del terreno superficial y las aguas de forma aceptable que considere el uso previo y sus condiciones óptimas, incluyó además, la recuperación de los depósitos de residuos, la revegetación de los terrenos utilizando especies adecuadas y la evaluación técnica. Trabajos los cuales no reflejan la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente.

Durán (1984), Smirniakov y Blanco, (1987) y Gonzalo (1997) (citados por Guerrero, 2003), realizaron estudios para valorar la posible utilización con otros fines de la economía de las minas metálicas de los yacimientos de cromo Moa-Baracoa. Las investigaciones desarrolladas por Naranjos La Fe en 1987, aportan datos que posibilitan analizar el comportamiento histórico de los efectos ocasionados por la actividad minero-metalúrgica sobre el medio ambiente de la región de minas en proceso de cierre. En estos estudios los autores no se hacen referencia al un análisis de lograr la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente.

En el año 2006, la Empresa Cromo Moa “Comandante Juan Vitalio Acuña Núñez”, dedicada a la exploración geológica, explotación y beneficio del cromo, solicitó un proyecto de cierre total y definitivo de las actividades mineras en los yacimientos de cromo (Merceditas, Amores, Los Naranjos y Albertina) pertenecientes a sus concesiones de explotación y procesamiento, dado por dificultades económico financieras generales, a la Empresa de Ingeniería y Proyectos del Níquel. Para la ejecución del mismo se tuvieron en cuenta la Ley N°. 76 de Minas, la Ley N°. 81 de

¹ Centro de Proyectos del Níquel. (CEPRONIQUEL)

Medio Ambiente, así como otras leyes, decretos y regulaciones relacionadas con el cierre de mina y la protección del medio ambiente. Pero no se tuvo en cuenta la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente.

Ouarg Sallamou, en el 2008, propone un plan de cierre temporal para el yacimiento Los Naranjos, teniendo en cuenta las reservas sin explotar y con el objetivo de minimizar y controlar los riesgos y efectos negativos generados durante las operaciones mineras y después del cese de estas, a partir de una análisis técnico, económico, social y medio ambiental, y las legislaciones vigentes en nuestro país; realizando además, propuestas alternativas de solución a problemas detectados para lograr el desarrollo sostenible en este yacimiento. Sin tener en cuenta en el plan la necesidad de la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente.

El análisis anterior demuestra que esta temática es tratada ampliamente tanto a nivel mundial como en nuestro país. Sin embargo, hasta la fecha estos proyectos y trabajos publicados no hacen referencia a la existencia de una correcta determinación de los índices de desechos capaces de alcanzar las escombreras de los yacimientos de cromo en la provincia de Camagüey.

En Cuba, debido a no existir tradición y experiencias en los planes de cierre, los proyectos mineros ejecutados anteriormente no tenían concebido la determinación del índice para lograr una correcta la elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente.

En los estudios realizados, no encontramos sistemas tendientes a asegurar el cumplimiento de una elaboración de un índice de control de desechos que permitiera el diseño de los parámetros de la mina a cielo abierto y la explotación con vista a disminuir la cantidad de desechos que se vierte al medio ambiente, para de esta

manera disminuir los costos a la hora de realizar el proceso de rehabilitación en las áreas afectadas. Perjudicando en gran medida el resto de las labores a realizar en estos lugares como pueden ser; agrícolas, ganaderas entre otras, por la ocupación desmedida de los desechos.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DEL YACIMIENTO

2.1 Introducción

En este capítulo se presenta un resumen sobre los trabajos más importantes desarrollados en la región, dirigidos a profundizar en el conocimiento geológico del yacimiento. El objeto de estudio lo constituyen los rasgos fundamentales de las características geológicas y geográficas del área de estudio, así como el desarrollo de las labores mineras presentes allí.

2.2 Características Geográficas y Económicas de la Región

La zona de los trabajos se ubica al Noreste de la ciudad de Camagüey, a 2 km al NNE de Altagracia, en la hoja topográfica “Minas”, escala 1:50 000 No. 4680-II, dentro de los límites determinados por las coordenadas Lambert del Sistema Cuba Norte. A continuación se muestran las coordenadas del área de explotación del yacimiento y la Figura N° 2.1 la concesión minera en explotación y la propuesta del yacimiento Victoria I.

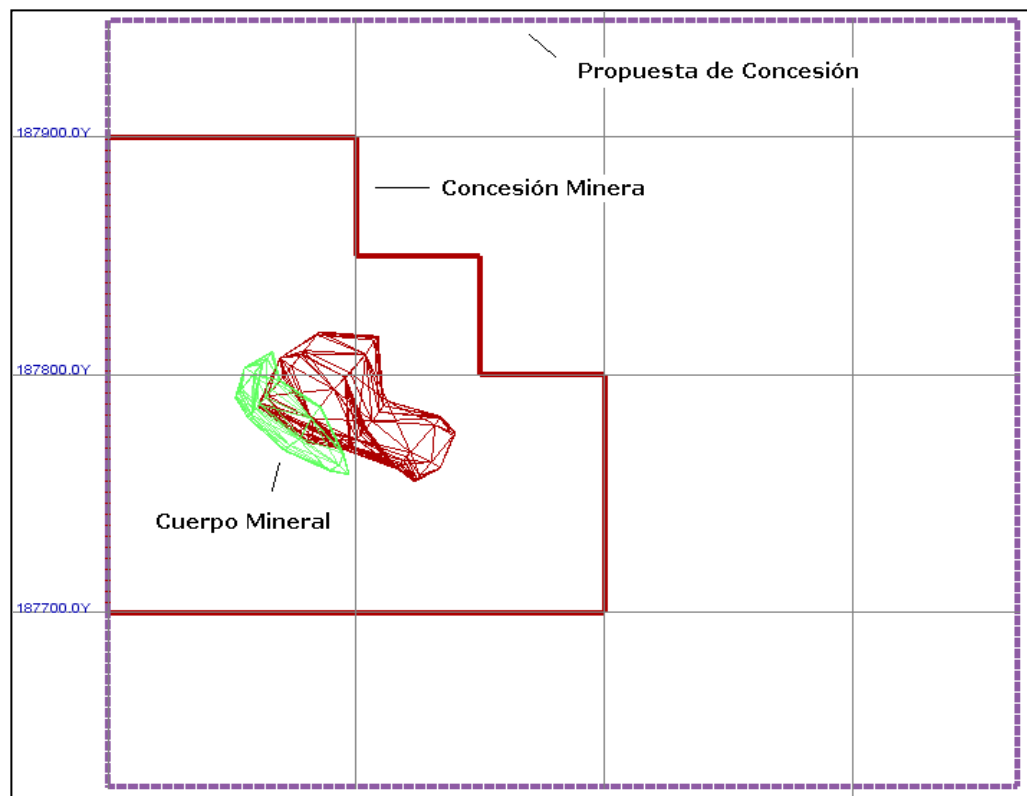


Figura 2.1. Concesión minera y concesión propuesta.

2.3 Características Geológicas del Yacimiento

En el polígono de Camagüey las principales Unidades Geológicas que se manifiestan son el Margen continental de La Plataforma de las Bahamas, el Complejo Ofiolítico, La Asociación Vulcano–plutónica del Arco Insular y las Asociaciones Sedimentarias posteriores.

2.4 Modelo geológico del yacimiento

El área de los trabajos se encuentra en el Complejo Cumulativo de la Asociación Ofiolítica de Camagüey, atravesada por el Complejo de Diques, los que se caracterizan por una amplia variedad de litotipos. La complejidad fundamentalmente está dada por las estructuras y elementos tectónicos que se manifiestan, así como por la presencia de áreas cubiertas por rocas vulcanógena–sedimentarias.

2.5 Composición química del mineral

Los contenidos por pozos aparecen en las tablas de los anexos textuales del Informe referido. El contenido promedio para el yacimiento es:

Cr₂O₃..... 29.18 %

SiO₂..... 6.57 %

Al₂O₃..... 26.94 %

CaO..... 0.96 %

2.6 Propiedades físico-mecánicas del mineral

El estudio ingeniero - geológico realizado se basó en la toma de muestras monolíticas de los pozos V-988-1, V-988-2 y V- 988-3.

En el informe del CIPIMM² se recibieron 59 resultados de propiedades físico - mecánicas. Los resultados se agruparon por tipos de rocas para su valoración estadística donde se presentaron dificultades, ya que varios parámetros, tales como varianza (v), media cuadrática (s), valor promedio (x) se requieren como mínimo 6

² Centro de Investigaciones Minero Metalúrgicas (CIPIMM)

valores para cada ensayo. Al agrupar los valores, se llegó la conclusión de que sólo el ensayo de Protodiakonov es el que cumple con mayor rigurosidad para la valoración estadística.

Tabla 1. Propiedades físico-mecánicas

Parámetros	U/M	Gabro	Serpentinita	Cromita
Densidad	g/cm ³	2.59	2.36	3.69
Humedad absoluta	%	0.65	1.13	0.26
Humedad relativa	%	0.64	1.13	0.26
Peso específico	g/cm ³	--	2.61	3.44
Resistencia a la compresión seca	MPa	--	71.27	--
Resistencia a la compresión saturada	MPa	16.41	40.49	--
Coeficiente de ablandamiento (Ka)	Adim.	--	0.55	--
Coeficiente de fortaleza por Protodiakonov (FKp)	Adim.	1.67	6.83	4.28
Resistencia a la tracción	MPa	3.19	3.65	2.02
Cohesión	MPa	--	12.61-39.05	10.38
Fricción interna	°	--	11.80-34.20	38.40
Velocidad ultrasónica	Km/s	5.17	5.47	6.95

Los valores del peso volumétrico utilizados para la valoración de los recursos se tomaron del informe de la búsqueda detallada donde se realizó un estudio de densitometría para la cromita de Victoria-I a 17 muestras y se obtuvo como resultado un peso volumétrico promedio de 3,69 t/m³.

2.7 Características hidrogeológicas

Los sectores de los trabajos ubicados dentro de La Asociación Ofiolítica de Camagüey se caracterizan por acuíferos poco productivos. Las características litológicas de las ofiolitas le imprimen propiedades de baja filtración, aunque pueden existir zonas de acuíferos con mayor permeabilidad que coinciden con zonas de dislocación tectónicas.

Para la división en complejos acuíferos se tomó en consideración la presencia de las diferentes Formaciones Geológicas.

En las áreas Victoria se realizaron trabajos hidrogeológicos con el objetivo de determinar los parámetros hidrogeológicos y principalmente el caudal, para estudiar la afluencia de agua a los pozos y la relación que pudiera existir entre el pozo y la mina en ambos lugares.

Sus valores límites son los siguientes:

- Gasto $Q = (0.116-0.78)$ l/s
- Abatimiento= $(5.4 - 41.92)$ m
- Transmisibilidad= $(0.61 - 4.29)$ m²/d
- Coeficiente de filtración= $(0.0008 - 0.088)$ m/d

Estos resultados caracterizan la secuencia litológica de las rocas ultrabásicas compuestas por peridotitas y dunitas serpentinizadas, gabro y cromita, las cuales están tectonizada.

En el área se desarrolla una red fluvial que pudiera afectar el yacimiento a explotar.

Las afluencias superficiales producto de las precipitaciones pudieran incidir al explotar el yacimiento a cielo abierto. Por eso se proyecta el cálculo de la afluencia total al yacimiento.

2.8 Características de la zona mineral

El mineral es masivo, compacto, de grano medio. Estos son de forma irregular. Los nódulos o la textura piel de leopardo no se observan. En estado fresco el mineral es negro hasta negro pardusca. En la cercanía a la superficie obtiene el color pardo negruzco. Normalmente el mineral carece de susceptibilidad magnética. Su densidad varía entre 3.7 y 4.0 g/cm³.

La profundización del conocimiento geológico del yacimiento Victoria-1 obtenida por la perforación de 4 pozos complementarios no introdujo cambios sustanciales en las condiciones de yacencia. Los rasgos principales de los cuerpos minerales se conservaron.

2.9 Características cualitativas del mineral

El contenido promedio para el yacimiento es:

Cr ₂ O ₃	28,80 %
FeO	10,70 %
SiO ₂	7,06 %
MgO	19,10 %
Al ₂ O ₃	26,20 %
CaO	1,25 %

El mineral es masivo, compacto, de grano medio. Estos son de forma irregular. Los nódulos o la textura piel de leopardo no se observan. En estado fresco el mineral es negro hasta negro parduzco. En la cercanía a la superficie obtiene el color pardo negruzco. Normalmente el mineral carece de susceptibilidad magnética. Su densidad varía entre 3,52 y 3,84 g/cm³. En caso de ser afectada por fallas, el mineral cambia sus características, obtiene aspecto de polvo negro y generalmente las muestras tomadas en estos intervalos arrojan menores contenidos de Cr₂O₃ que los de cromita masiva. La profundización del conocimiento geológico del yacimiento Victoria-1 obtenida por la perforación de cuatro pozos complementarios no introdujo cambios sustanciales en las condiciones de yacencia. Los rasgos principales de los cuerpos minerales se conservaron.

2.10 Características del medio natural del área del proyecto. Descripción socioeconómica

Para esta pequeña zona es característica esencial su accesibilidad satisfactoria a partir del kilómetro veinte y dos de la carretera de Nuevitas por un terraplén que se dirige a la presa “Montecito”. Allí se desarrolla un vasto plan agrícola para la producción de viandas y vegetales. También se cultivan frutas.

La cabecera municipal Minas se encuentra a 12 km al ENE, por carretera y por la línea de ferrocarril.

El relieve de la región es generalmente llano, con valores de cotas entre 48 m a 80 m, en ocasiones se presenta ligeramente ondulado, con algunas elevaciones como Loma Yucatán, Loma Sin Nombre, Loma La Entrada, Loma Bayatabo, Loma Las Aguas, etc., que alcanzan alturas desde 122 m a 180 m, debiendo su existencia a la presencia en ellas de rocas silíceas y gábricas muy resistentes a la erosión.

El suelo presente en estas áreas pertenece al agrupamiento de los fersialítico, del tipo rojo parduzco ferromagnesial, el cual ha evolucionado a partir de serpentinitas y materiales re-depositados, apareciendo la roca a poca profundidad, este espécimen de suelo es arcilloso, de textura plástica y de muy buena estabilidad estructural. Desde el punto de vista agrícola estos suelos se emplean en el fomento de los cultivos varios, los frutales y la ganadería.

Entre las especies más significativas por su abundancia-dominancia se hallan, las arbustivas: *Dichrostachys cinerea*, entre otros caracterizados por su alta esclerofilia, microfilia, micrantia y gran espiniscencia. La zona aledaña a los yacimientos está formada por áreas de cultivos varios como: plátano, calabaza, tomate, boniato, mango, entre otros. Ver foto N°.1.



Foto N°.1. Plantaciones de mango en áreas aledañas.

El área correspondiente a las minas es una sabana totalmente antropizada, que durante varios años fue dedicada, entre otras cosas, a la siembra de cultivos varios y la cría de ganado vacuno.

En la zona se observan fundamentalmente áreas con cultivos varios, totalmente modificadas, con presencia de vegetación secundaria, mientras que en los lugares no cultivados, predominan las especies arbustivas invasoras con alturas entre 1 y 2 m, dentro de las mismas se distinguen: *Dichrostachys cinerea* (L.), *Leucaena leucocephala* (Lam.), *Mimosa Fagaracantha* Griseb y otras. También están presentes individuos aislados de la especie arbórea *Mangífera Índica*, *C. obliqua* Willd, *Cocos nucifera* L., *Casuarina equisetifolia* Forst., entre otros con altura de hasta 5,0 m.

La zona se encuentra fuertemente antropizada y existe muy poca vegetación original, pues el entorno ha sido modificado por la cría de ganado, la siembra de cultivos varios y la explotación minera, debido a ello la diversidad de especies de la fauna silvestre es pobre, no siendo así con los animales de corral, donde si existe un buen número de ellos, destacándose el ganado vacuno, bovino, caprino, entre otros.

2.10.1 Labores de apertura

La apertura del yacimiento será realizada mediante trincheras independientes por la parte Noreste y Este, a partir de éstas se construirá una trinchera de corte para preparar la plataforma de trabajo y desde la misma se iniciará la Minería.

2.10.2 Tala y desbroce

La tala consiste en el corte y traslado de los árboles presentes en el área de emplazamiento de la mina. El desbroce se basa en la extracción y retiro de los arbustos, plantas, tocones, malezas, basura y cualquier otro objeto no deseable de la zona de la mina. Ambas labores son preparatorias y tienen la finalidad de crear las condiciones óptimas para las demás labores preparatorias como lo es la apertura, etc. Estas labores sólo se limitarán al área de la mina y escombreras, no debiendo excederse de sus límites.

La potencia promedio de destape (desbroce) es de 0.5 m, y teniendo en consideración que el relieve de la superficie del yacimiento es prácticamente llano y la potencia de destape es pequeña, se recomienda realizar la extracción de la capa vegetal con bulldózer.

2.10.3 Tecnología de los trabajos

Los trabajos en la mina consisten en el arranque, traslado y almacenamiento del mineral y las rocas de destape. Para ello se deben realizar los siguientes procesos básicos: la preparación de las rocas para la excavación, la excavación - carga, el traslado de la masa minera (las rocas estériles hacia las escombreras y el mineral a los depósitos o a la planta) y la preparación primaria del mineral y su beneficio

2.10.4 Preparación de las rocas para la extracción

Esta tiene como finalidad crear las condiciones seguras para los trabajos mineros, obtener la calidad requerida de la mena extraída, asegurar las posibilidades técnicas y las mejores condiciones técnicas para el uso de los medios técnicos en los procesos posteriores. Comprende el debilitamiento, cambio de estado y fragmentación de las rocas para facilitar su laboreo.

Los trabajos con explosivos deben garantizar el grado de fragmentación necesario, la calidad requerida del mineral, las dimensiones y la forma del montón de rocas, las cotas, dimensiones y forma de las plazoletas de trabajo y los escalones, la acción sísmica permisible sobre las edificaciones y el macizo de rocas, una alta productividad del trabajo de los equipos de excavación-carga, la efectividad económica y seguridad de los trabajos. La voladura a realizar será de remoción del macizo y debe tener una granulometría óptima para garantizar una alta productividad de los equipos.

2.10.5 Los trabajos de excavación-carga

Estos trabajos contemplan la excavación y carga (traslado y descarga) en medios de transporte de la masa minera. La excavación de las rocas se realizará con cargador y retroexcavadora, se contará con una rampa inclinada con 12 % de pendiente y 12.00 m de ancho que conectará todos los niveles de explotación.

Teniendo en cuenta el equipamiento a usar en la mina, la estructura de mecanización compleja será de carácter discreto, debido a que los equipos que realizan el proceso son de acción cíclica en todo el flujo.

2.10.6 Carga

La actividad de carga tanto en el mineral como en el estéril, se ejecutará con el uso de un cargador.

2.10.7 Transportación del mineral y del estéril

Esta labor es parte de los trabajos mineros, a través de la cual se traslada el mineral hacia los depósitos o la planta para su procesamiento y el estéril para las escombreras.

La transportación del mineral y el estéril se realizará usando camiones volteo de 27.00 T de capacidad, la cual constituye un esquema cíclico. El transporte automotor tiene como ventaja, respecto a otros sistemas, su maniobrabilidad, flexibilidad y en distintas condiciones climáticas, capacidad de vencer grandes pendientes, etc.

2.11 Diseño de la minas

El diseño final representa la envolvente mayor que maximiza el beneficio operacional instantáneo de un yacimiento posible a explotar a cielo abierto. Es un estado geométrico de la mina que muestra al yacimiento luego de su total explotación, es decir, que se puede considerar como la situación de la minas al final de su vida útil.

2.12 Diseño final operativo de la minas

Sobre la base del equipamiento, concesión minera, cuerpo mineral, leyes de corte se procedió a realizar el diseño final operativo de la minas, teniendo en cuenta los parámetros minero-técnicos para el desarrollo eficaz de la misma.

La profundidad final es hasta la cota + 10.00 m, resultando la profundidad óptima acorde con los objetos de obra superficiales, como la plataforma de descarga, el camino principal de acceso, etc.

2.13 Método y sistema de explotación

Dadas las características y condiciones que se presentan en el yacimiento, sobre todo su cercanía a la superficie (afloramientos en parte), es obvio, que el yacimiento Victoria 1 sea explotado por el método a cielo abierto.

El sistema de explotación define el orden de formación de la zona de trabajo en la mina en tiempo y espacio, y se caracteriza por el desarrollo armónico de los trabajos mineros en los escalones, forma de los frentes y dirección de desplazamiento.

El sistema de explotación a emplear, según el orden de los trabajos en profundidad propuesto por el Académico V. V. Rshevsky y el profesor Titular A. V. Arsentiev, será el sistema con profundización. El desarrollo de la explotación será con profundización en espiral por bancos o escalones de 10.0 m de altura y por bloques de explotación con tamaño 5 m x 5 m (a través del rumbo y perpendicular al rumbo, respectivamente), los cuales se dispondrán en dirección longitudinal con respecto al campo de la mina. Los bancos se conectarán a través de la rampa de acceso, con sus correspondientes características para el traslado óptimo de la masa minera.

Los principales elementos del sistema de explotación son: escalones de trabajo, bandas de excavación, trincheras de apertura, plazoleas de trabajo, zanjas de preparación, escombreras interiores, etc. Los parámetros de cada uno de estos elementos son tratados en acápites incluidos en el proyecto.

Los parámetros del sistema de explotación dependen del tipo de equipamiento utilizado y a su vez influyen en la efectividad del trabajo de estos.

Se hace alusión con anterioridad en la parte de Geología sobre las condiciones de yacencia del cuerpo mineral y se describen las características que condicionan la explotación por el método a cielo abierto y mediante trincheras sucesivas con profundización.

Para el correcto diseño se cubrieron etapas de investigación geológica, producto de las cuales se obtuvo el modelo del yacimiento con todas sus características litológicas y estructurales, que permitieron optimizar la geometría del final de la mina y establecer la planificación de las labores, el control y previsión de la calidad del mineral y en suma, la factibilidad de la inversión. Ver fotos de las labores de explotación.

Avances de la explotación minera en el yacimiento Victoria I.



Foto.Nº.2. Avances por niveles, con su rampa de acceso.



Foto N°.5. Equipamiento para el drenaje de la minas.



Foto. N°. 3. Visualización de la trinchera de corte para el desarrollo minero.



Foto N°.6. sistema de explotación en profundización por bancos



Foto N°.4. Trinchera de corte inundada.



Foto N°.7. Interrupción del flujo del agua subterránea, como consecuencia de la explotación minera.

2.14 Descripción de los impactos

Se realiza una evaluación cualitativa de los impactos que pueden sufrir las componentes ambientales como consecuencia de la explotación del proyecto.

Pérdida de la cobertura vegetal

- Durante la ejecución del proyecto se producirá la pérdida de la cobertura vegetal debido al desbroce donde se retirarán arbustos, plantas, tocones, malezas, basura y cualquier otro objeto no deseable, de la zona de la mina y la escombrera.
- El volumen de la capa vegetal que se producirá del desbroce del área de la minas es de 23348.394 m³.
- Afectación de la estructura natural y la diversidad florística en el área.
- Este es un impacto asociado al anterior, pero referido a la pérdida de los valores florístico con la eliminación de la vegetación en el área. De forma general, las comunidades vegetales presentes en el área específica de explotación minera presentan un bajo valor florístico y ecológico. No obstante, por las transformaciones anteriores, estas formaciones vegetales no constituyen sitios representativos de estas poblaciones y especies en la región.



Foto N°. 8. Áreas que serán desbrozadas durante los trabajos de explotación.

Restauración de la cobertura vegetal

- La reforestación y rehabilitación de las áreas minadas permitirá la implantación de una cobertura vegetal que propicie las condiciones básicas para la recuperación natural y autosustentabilidad de la vegetación.
- Destrucción del hábitat de la fauna silvestre por la desaparición de los ecosistemas naturales. Este impacto es producto de la remoción de la vegetación. Desaparece toda la superficie destinada a hábitat para la fauna que queda en la minas. Ninguno de los hábitat presentes en el yacimiento resultan claves para especies endémicas o amenazadas.
- Migración (aves, mamíferos) y muerte (reptiles, anfibios, insectos) de individuos de la fauna silvestre
- Durante la etapa de apertura con la destrucción de los hábitats por el desbroce, la fauna del área es perturbada muriendo individuos de los grupos con menor movilidad y hábitos territoriales como los reptiles, anfibios, moluscos, arácnidos e insectos. El resto de la fauna se ve perturbada y/o ahuyentada por el ruido y el trasiego humano durante toda la vida útil del proyecto fundamentalmente por el laboreo minero. No se prevé la pérdida de poblaciones o individuos de interés, debido a la baja densidad faunística en el área del yacimiento, y a la ausencia de especies amenazadas.
- Rehabilitación de hábitat para la fauna silvestre mediante la rehabilitación minera se recuperan las pérdidas en los hábitats disponibles para la fauna silvestre e incluso se aumentará esta superficie al reforestarse áreas actualmente deforestadas. La calidad de estos nuevos hábitats se irá incrementando a largo plazo con la regeneración natural de estos ecosistemas disturbados.

Afectaciones a los recursos hídricos

Se producirá alteración del régimen hidrológico del área y posible contaminación de contaminación del suelo, aguas superficiales y subterráneas por derrame de combustibles, además cambios en el drenaje superficial y subterráneo. Durante la explotación puede ocurrir contaminación del suelo y las aguas por generación de residuales líquidos y sólidos.

Beneficios socioeconómicos

- Reanimación de otros sectores económicos.
- Generación de empleos.
- Generación de ingresos.
- Mejora de la calidad de vida de los habitantes de las localidades cercanas.

Etapas de cierre

- Disminución del nivel de empleo.
- Desaparición de las alteraciones psicosociales.
- Disminución de las afectaciones a la atmósfera, agua y los suelos.
- Surgimiento de vegetación secundaria.
- Disminución de los procesos erosivos.
- Disminución del estrés ambiental en la biota circundante.
- Alteración del régimen hidrológico del yacimiento.

Plan de rehabilitación en el área del yacimiento Victoria I

- Mejora de las condiciones ambientales.
- Recuperación de un reservorio de agua dulce.
- Recuperación del hábitat acuático.
- Aparición de nuevas especies de la flora y la fauna.
- Introducción de hábitat y nichos ecológicos.
- Disponibilidad de un área para nuevos fines productivos o de servicios.
- Transformación del paisaje.

CAPÍTULO 3. ELABORACIÓN DEL ÍNDICE QUE PERMITA DISMINUIR LA CANTIDAD DE ESCOMBRO QUE SE GENERA EN LA EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE CROMO A CIELO ABIERTO

3.1 Consideración de los factores ecológicos en la determinación de los parámetros de diseño de la mina a Cielo Abierto

La influencia negativa de los trabajos mineros y de beneficio en el medio ambiente, sus dimensiones en un nivel determinado dependen del volumen de los desechos, que se forman en la extracción y el beneficio de los minerales útiles (Krasavin et al,2011). Por ejemplo la mena comercial constituye solamente el 50%, de la masa minera extraída en la minería del cromo, se forma anualmente en la extracción y beneficio de las menas, desechos que alcanzan 1189764 m³ por años. La transportación almacenamiento y la conservación de los desechos representan una tarea ecológica y técnico-económica compleja.

En esta situación surge la necesaria valoración del nivel de la producción minera, su seguridad relativa para el medio ambiente y la efectividad desde el punto de vista de la utilización de la materia prima mineral(Herrera,2006). Para tal valoración puede servir el índice de la cantidad de desechos (ICD) es decir, el volumen de los desechos, que tiene lugar en la unidad de producción comercial o en la unidad de componente útil, que es contenido en la producción comercial. Para la industria del cromo el ICD se debe calcular por la fórmula:

$$ICD = (V + X)Q^{-1}\alpha^{-1} \quad (3.1)$$

Donde V, X – son respectivamente el volumen de las rocas de escombros y el de cola, del proceso industrial en m³;Q- es la producción de la mena comercial, t, α - es el contenido del metal en la mena comercial, parte de la unidad.

En la opinión del autor el ICD es el indicador de la seguridad ecológica de la actividad de la empresa minera, puede calcularse para todos los plazos de las actividades de la empresa o para distintos periodos (etapas) es decir para la construcción, la asimilación de la capacidad productiva completa y el agotamiento. El índice de la cantidad de desecho puede determinarse como la magnitud media para la rama, sub-rama o región.

El criterio para garantizar que no exista un vertimiento excesivo de desechos en el medio ambiente como en la actualidad es que el ICD no debe sobrepasar $1.99 \text{ m}^3/\text{t}$ este dato es conciliado con la dirección de la Empresa.

3.2 Indicaciones metodológicas para la aplicación del Índice de la cantidad de Desechos

Para caracterizar el volumen relativo de las rocas de destape en los límites del campo de la minas se utilizan índices especiales, los coeficientes de destapes (Lomonosov, 2000) y el ICD; este último se determina por la relación de la cantidad volumétrica o de masa de escombros con relación a la masa de mineral extraído que yace debajo de él o en intercalación. El ICD muestra, cuántas unidades de escombros es necesario transportar en los límites o fuera de los límites de la mina, para extraer una unidad de mineral útil. Por ejemplo, el valor de $K=4,5 \text{ m}^3/\text{m}^3$, significa que para extraer 1m^3 de mineral útil se exige trasladar $4,5 \text{ m}^3$ de escombros.

En dependencia de las unidades de medida del ICD, se le denomina de masa o másico (el escombros y el mineral útil, son expresados en unidades de masa, t/t); el volumétrico (el escombros está expresado en unidades de volumen y el mineral útil en masa, m^3/t).

Para la conversión del ICD de una dimensión a otra es necesario expresar al escombros y al mineral útil en la unidad correspondiente (volumétrico o de masa). En este caso se pueden utilizar los distintos tipos de ICD que son mostrados en la **Tabla 3.1**

Tabla 3.1. Tipos de ICD

ICD, el cual se exige obtener	El factor para el paso al ICD de destape		
	De masa	Volumétrico	Mixto
De masa	1	$\frac{\gamma_{es}}{\gamma_m}$	γ_{es}
Volumétrico	$\frac{\gamma'_m}{\gamma_{es}}$	1	γ_m
Mixto	$\frac{1}{\gamma_{es}}$	$\frac{1}{\gamma_m}$	1

El ICD medio K med, se determina por la relación del volumen (Ves) de escombro con respecto al volumen del mineral útil (Vm) en el contorno final de la minas (ver fig1.1), es decir:

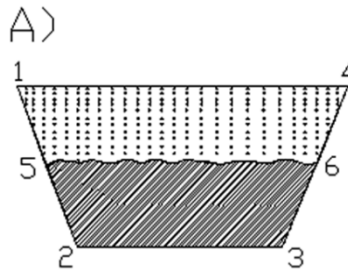


Figura 3.1. Determinación del ICD medio

$$K_{med} = \frac{V_{es}}{V_m} \quad \frac{m^3}{m^3} \quad (3.2)$$

Si las reservas de mineral útil son determinadas según los datos de la exploración geológica, entonces en este caso el ICD se denomina medio geológico. Si en la determinación del ICD son utilizadas las reservas industriales, entonces el ICD se denomina medio industrial.

Al momento de la entrega de la Mina a la explotación los volúmenes de escombros y de mineral útil se disminuyen (Ayala, 2004), ya que en el período de construcción de la mina se excava el Vesc y al mismo tiempo se extrae el Vmc del mineral útil (ver Figura 3.1).

El ICD que es determinado, en este caso, se denomina medio de explotación y se determina según la formula

$$K_{m.c} = \frac{V_{es} - V_{es.c}}{V_m - V_{m.c}} \quad \frac{m^3}{m^3} \quad (3.3)$$

En yacimientos que yacen horizontalmente en profundidades no grandes hasta (30 - 45 m), en dimensiones significativas de la mina a cielo abierto en el plano y potencia de escombros constantes (h_{co}) y del mineral útil h_m . El ICD medio puede ser determinado según la fórmula:

$$K_{med} = \frac{h_{co}}{h_m} \frac{m^3}{m^3} \quad (3.4)$$

El ICD corriente K_t se determina por la relación del volumen de escombros V_{es} , que es transportado desde la mina o en sus límites en cualquier período de tiempo (año, trimestre, meses) y el volumen de mineral útil $V_{m,t}$, extraído en ese mismo período de tiempo, es decir

$$K_t = \frac{V_{es,t}}{V_{m,t}} \frac{m^3}{m^3} \quad (3.5)$$

A diferencia del ICD medio, la magnitud del cual no varía en los contornos finales dados de la mina, la magnitud del ICD corriente, como regla, varía según el año, así como a lo largo del año (en el período de lluvia disminuye y en el de seca aumenta).

El ICD de contorno K_{con} se determina por la relación del volumen de escombros con respecto al volumen del mineral útil, que es extraído durante la variación (cambio) de los contornos finales de la mina.

El ICD límite K_L caracteriza el volumen máximo específico (por unidad de mineral útil) de escombros que puede ser extraído para garantizar la rentabilidad de los trabajos mineros a Cielo Abierto.

$$C'_a = C_a + K_t C_{es} \quad (3.6)$$

Dónde: C'_a – Gastos en la explotación de la unidad de mineral útil por el método a Cielo Abierto.

C_a – son los Gastos en la extracción de (ITO $1m^3$) de mineral útil sin tener en cuenta los gastos en los trabajos de escombro; pesos; C_{es} – Gastos en laboreo de $1m^3$ de rocas de escombros, pesos; K_t es el coeficiente corriente de destape (m^3/m^3), (m^3/t).

El valor límite del ICD corriente de destape se determina de la condición

$$C_p = C_a + K_t C_{es}$$

$$K_t = K_e = \frac{C_p - C_a}{C_{es}}, \quad \frac{m^3}{m^3} \left(\frac{m^3}{t} \right) \quad (3.7)$$

C_p – costo Planificado

El ICD planificado K_p , es el valor del coeficiente de destape, el cual se toma para la determinación el costo de producción C del mineral útil durante la amortización de los gastos en los trabajos de escombreo en el período de explotación, es decir:

$$C = C_{m.t} + K_p C_{est} \quad (3.8)$$

Donde: $C_{m.t}$ – son los gastos corrientes en la extracción de 1 m^3 del mineral útil sin tener en cuenta los gastos en el trabajo de escombreo, pesos; C_{est} – son los gastos corrientes en el laboreo de 1 m^3 de escombros, pesos.

Los valores de los ICD son índices básicos del laboreo a cielo abierto. Ellos sirven para la determinación de los límites de los trabajos mineros a Cielo Abierto económicamente efectivos y de la profundidad límites de las minas en el laboreo de yacimientos abruptos inclinados a profundidades significativas, también para la planificación y regulación de la productividad de la mina y del costo de producción de la materia prima que es extraída y del control de la cantidad de desechos.

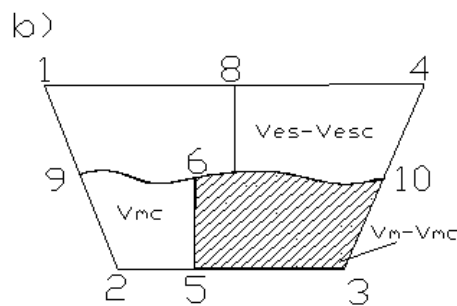


Figura 3.2

Esquemas para la determinación de los ICD medios Geológicos (a) y medios de explotación (b):

1-5-6-4- es el volumen de escombro en los contornos finales de la mina; 5-2-3-6 es el volumen de mineral útil V_m en los contornos finales de la mina; 1-9-10-4 es el volumen

V_{es} ; 1-9-7-8 es el volumen $V_{es.c}$ del escombros de construcción; 9-2-5-6 es el volumen $V_{m.c}$ de mineral que es extraído en la construcción de la mina (explotación de paso).

A los parámetros Principales de la mina pertenecen el volumen de masa minera en los contornos, la profundidad final, las dimensiones según el piso, los ángulos de talud de los bordos, las reservas de mineral útil en los contornos y las dimensiones al nivel de la superficie diaria.

El volumen de masa minera en los contornos de la mina $V_{m.m}$; el plazo de existencia y la profundidad de la mina, se puede determinar según la fórmula del científico Ruso Ryebsky, V

$$V_{m.m} = SH_r + \frac{1}{2} \sum_1^n l_n H_f + Ctg B_n + \frac{1}{3} \pi H_f^3 Cotg^2 \beta_{med} \quad m^3 \quad (3.9)$$

Donde S es el área del piso ABCDE de la mina (Figura 1.2), m^2 ; H_f . Profundidad de la mina, m, B_n es el ángulo del talud de n sectores del borde, grados L_n es la longitud de n sectores del bordo, m; B_{med} , ángulo medio del talud del bordo, grados.

$$\beta_{med} = \frac{\beta_1 L_1 + \beta_2 L_2 + \dots + \beta_n L_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} = \text{grados} \quad (3.10)$$

Si los ángulos de los taludes de todos los bordos de la minas son iguales o se diferencian entre ellos no significativamente, entonces la fórmula (1.9) toma la fórmula (1.10).

$$V_{m.m} = SH_f + \frac{1}{2} PH_f^2 CT_g \beta_{med} + \frac{1}{3} B_n + \frac{1}{3} \pi H_f^3 \cot g^2 \beta_{med} \quad (3.11)$$

Donde P es el perímetro del piso de la minas. Sustituyendo en la fórmula pasa H_f por h_m , obtenemos la fórmula para la determinación del volumen de minera útil en el laboreo de los yacimientos horizontales con una potencia relativamente constante.

$$V_m = Sh_m + \frac{1}{2} Ph_m^2 CT_g \beta_{med} + \frac{1}{3} \pi h_m^3 \cot g^2 \beta_{med} \quad m^3 \quad (3.12)$$

Donde H_m es la potencia media del yacimiento o cuerpo mineral útil.

El volumen de las rocas de escombros en los contornos de la minas

$$V_{esc} = V_{m.m} - V_m = S(H_f - h_m) + \frac{1}{2} Pctg\beta_{med} (H_f^2 - h_m^2) + \frac{1}{3} \pi ctg^2 \beta_{med} (H_f^3 - h_m^3) \quad m^3 \quad (3.13)$$

La profundidad final de la mina en el laboreo de los yacimientos abruptos e inclinados determina todos los parámetros principales de la mina, las escalas de los trabajos mineros y de su tecnología (método de apertura y el sistema de explotación). Por distintos tipos de autores han sido propuestos varios principios de determinación de la profundidad de la mina. Todos los principios propuestos se determinan por el orden de la comparación de algunos índices económicos del laboreo a Cielo Abierto y el Subterráneo. Por el autor es propuesto, el principio que está fundamentado en la comparación de los ICD límites y corrientes.

La esencia de este principio consiste en lo siguiente.

Con el aumento de la profundidad de la mina, que laborea un yacimiento Abrupto, el ICD crece constantemente. En el alcance de determinada profundidad intermedia H_{fi} , del contorno de la mina donde el valor ICD corriente se hace igual al ICD límite es decir $K_t = K_l$. De esta manera, el aumento posterior de la profundidad de la minas respetando la racionalidad económica de la explotación a Cielo Abierto es posible solamente sin el aumento posterior del ICD corriente, lo que se garantiza con la ejecución de los trabajos sin la ampliación de los contornos de la mina en la superficie. Los trabajos mineros en los escalones superiores en la medida de la profundización sucesiva de la mina (de arriba hacia abajo) se interrumpe, el ángulo del talud del bordo gradualmente se aumenta y en la profundidad H_f alcanza los valores del ángulo de agotamiento, el cual corresponde a la profundidad final de la mina.

Resolver la tarea de la determinación de la profundidad final de la mina en el laboreo de yacimientos inclinados y abruptos se puede por el método analítico. Para esto al principio se determina la profundidad intermedia de la mina H_{fi} según la condición de la igualdad de los ICD límite y corriente ($K_t = K_l$). En condiciones minero-geológicas el valor del ICD corriente también puede ser determinado analíticamente. Supongamos que un momento determinado de tiempo la mina tiene la profundidad H_{fi} y está limitada por el contorneo **Figura (3.3)**. Durante el tiempo Δt la profundidad de la mina se aumenta en la profundidad ΔH_f y la mina estará limitada por el contorneo Π y el volumen de su masa minara se aumenta en la magnitud.

$$\Delta V_{mm} = \Delta V_{es} + \Delta V_m \quad (3.14)$$

De acuerdo a la determinación del ICD corriente (relación del volumen de incremento (crecimiento) aumenta con respecto a volumen de aumento de mineral útil en el tiempo Δt) se puede escribir:

$$K_t = \frac{\Delta V_{es}}{\Delta V_m} \quad \frac{m^3}{m^3} \quad (3.15)$$

$$K_t = \frac{\Delta V_{mm} - \Delta V_m}{\Delta V_m} \quad \frac{m^3}{m^3} \quad (3.16)$$

Partiendo del volumen de masa minera de la mina, el que es calculado según la fórmula (1.8), el incremento de la masa minera puede ser expresado en la forma:

$$\Delta V_{mm} = \frac{dV_{mm}}{dH_f} = \frac{d(SH_f + \frac{1}{2}PH_f^2 \text{ctg}\beta_{med} + \frac{1}{3}\pi H_f^3 * \text{ctg}^2\beta_{med})}{dH_f} = S + PH_f \text{ctg}\beta_{med} + \pi H_f^2 \text{ctg}\beta_{med} \quad (3.17)$$

El incremento de volumen de material útil

$$\Delta V_m = \frac{d(mhL_{fo} * \Delta H_f)}{dH_f} = mhL_{fo} \quad (3.18)$$

Donde m_h - Potencia horizontal de yacimiento o del cuerpo; L_{fo} es la longitud del fondo de la mina.

De las expresiones (1.15); (1.16); y (1.17) obtenemos:

$$K_t = \frac{V_{mm} - \Delta V_m}{\Delta V_m} = \frac{S + PH_f \text{Ctg}\beta_{med} + \pi H_f^2 \text{Ctg}^2\beta_{med} - m_h L_{fo}}{m_h L_{fo}} \quad \frac{m^3}{m^3} \quad (3.19)$$

Transformando la expresión (3.18) a la forma:

$$\pi \text{Ctg}^2\beta_p H_k^2 + P \text{Ctg}\beta_{tr} H_f + S - m_h L_{fo} (HK_l)$$

Donde β_{tr} es el ángulo del talud del bordo (1.18) de trabajo de la mina, grados 7-6-I-8 y 3-4-10-9- es el volumen de escombros

1-2-3-4-5-6 es el volumen de mineral útil ΔV_m ; I y II son los contornos de la mina.

Resolviendo la ecuación cuadrática (1.18) con relación a H_f , obtenemos la fórmula para la determinación de la profundidad intermedia de la mina, en la cual el ICD corriente será igual al ICD límite.

$$H_{fi} = \frac{-P \pm \sqrt{P^2 - 4\pi[S - m_h L_{fo}(1 + K_l)]}}{2\pi \text{Ctg} \beta_{med}} \quad (3.20)$$

$$H_{fi} = \frac{A - P}{2\pi \text{Ctg} \beta_{med}}, \quad m^3 \quad (3.21)$$

Donde

$$A \pm \sqrt{P^2 - 4\pi[S - m_h L_{fo}(1 + K_l)]} \quad (3.22)$$

La profundidad final H_{ff} de la mina se determina de la igualdad.

$$W_{fo} + 2H_{fi} \text{Ctg} \beta_{tr} = W_{fo} + 2H_{f.f} \text{Ctg} \beta_n$$

$$H_{f.f} = H_{fi} \frac{\text{Ctg} \beta_{tr}}{\text{Ctg} \beta_n}, m \quad (3.23)$$

Donde β_n es el ángulo del bordo no laboreado de la mina; grados

Sustituyendo en la fórmula (1.22) el valor H_{fi} obtenemos:

$$H_{fi} = \frac{A - P}{2\pi \text{Ctg} \beta_{tr}} \frac{\text{Ctg} \beta_{tr}}{\text{Ctg} \beta_n} = \frac{A - P}{2\pi \text{Ctg} \beta_n} \quad (3.24)$$

Los métodos analíticos de cálculo de la profundidad final de la mina son aproximados, ya que ellos no pueden considerar todas las particularidades minero-geológicas, topográficas y otros del yacimiento. Para una solución más exacta de este problema se aplican otros métodos: los gráficos, grafo-analíticos y el método de las variantes.

Los cálculos técnico – económicos muestran que los yacimientos se pueden laborear a profundidades de 700-800 m por el método a Cielo Abierto.

Para argumentar los componentes del ICD límite es necesario considerar su variación en tiempo en relación con el progreso técnico en la industria minera. La variación de los índices de costos C_p , C_a , y C_{es} en el tiempo t conduce a la variación en del ICD límite, puesto que la disminución de los gastos anuales en el método a Cielo Abierto de laboreo frecuentemente transcurre más intensamente que el subterráneo, entonces en otras iguales condiciones, el ICD límite, y por consiguiente la profundidad límite de la mina tienen tendencia al aumento.

En el laboreo de los yacimientos horizontales y poco inclinado, la profundidad de la minas se determina por las cotas del piso de la capa de mineral útil o por la sum de la potencia de escombros h_{es} y de mineral útil, es decir;

$$H_{f.f} = h_{es} + h_m \quad m^3 \quad (3.25)$$

No obstante, en este caso, surge el problema sobre la racionalidad económica de la explotación de este yacimiento por el método a Cielo Abierto. Este problema por la vía de la comparación del coeficiente medio de destape con el límite. El yacimiento es racional explotarlo por el método a Cielo Abierto con la condición $K_{met} \leq K_l$.

En el laboreo de yacimientos inclinados y abruptos el ancho mínimo del fondo de la mina se determina por las condiciones de la ejecución segura de los trabajos mineros y constituye 30 a 40 m. La longitud del fondo de la minas se elige igual a la dimensión del yacimiento según la extensión (cuando la extensión no es significativa). En el caso de gran extensión del yacimiento, la longitud del fondo de la mina según las consideraciones técnicas se toma 3-4 Km. La longitud mínima del fondo de la mina deberá encontrarse en los límites 70-100 m.

En el laboreo de los yacimientos inclinados y abruptos de potencia horizontal significativa el volumen de mineral útil que será extraído depende de la posición del fondo de la mina con relación a los costados del yacimiento lo que en fin de cuenta ocasiona influencia en los índices técnico-económicos del laboreo a Cielo Abierto así, la posición del fondo de la mina desde la dirección del costado yacente del yacimiento es más racional, que de la dirección del costado colgante. En el primer caso el volumen de mineral útil no extraído, está limitado por el área ABC, de menor volumen que del

área limitada por A', B', C'. De esta manera la elección de la posición más racional del fondo de la mina con relación a los costados del yacimiento se reduce a la determinación del área mínima del mineral que será extraído. Esta condición puede ser presentada en forma de función objetiva.

$$S_1 + S_2 \rightarrow O \quad (3.26)$$

Donde S_1 y S_2 es el área del mineral útil que será extraído desde la dirección del costado colgante y yacente con la ubicación del fondo de la mina en el interior del yacimiento. Ver figura 3.4

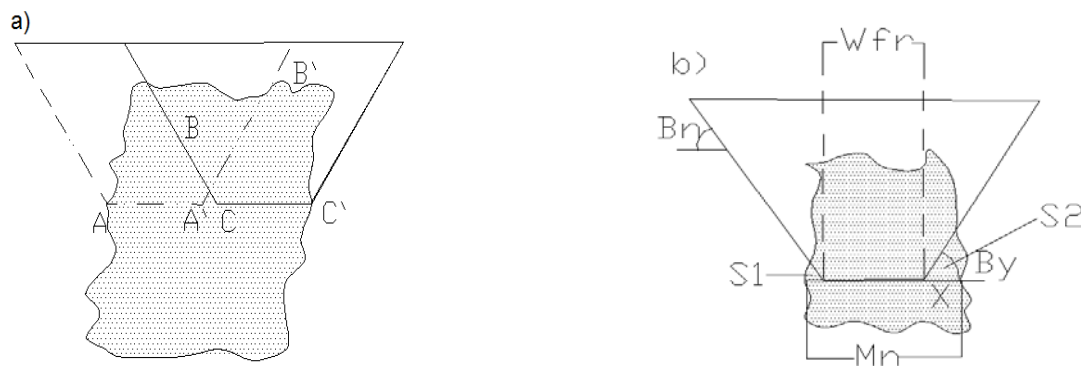


Figura 3.4 Esquema para la elección de la posición del fondo.

- Posición del fondo de la mina desde la dirección del costado yacente del yacimiento.
- Posición del fondo de la mina desde el interior del yacimiento.

$$S_1 = \frac{(m_h - x - W_{fo})^2 t_g \beta_y t_g \beta_n}{2(t_g \beta_y + t_g \beta_n)} \quad m^2 \quad (3.27)$$

$$S_2 = \frac{x^2 t_g \beta_y t_g \beta_n}{2(t_g \beta_y + t_g \beta_n)} \quad m^2 \quad (3.28)$$

Donde m_h es la potencia horizontal del mineral útil, m; x es la distancia desde el fondo de la mina, el costado yacente del yacimiento, grados; $B_n \rightarrow$ es el ángulo del talud del bordo de la mina (Ángulo de agotamiento; grados)

Tenemos a la distancia x como una magnitud variable. Entonces la función objetiva que será analizada puede ser expresada en la forma siguiente:

$$\frac{d}{dx}(S_1 + S_2) = 0$$

O

$$\frac{d}{dx} \left[\frac{(m_h - x - W_{fo})^2 t_g \beta_y t_g \beta_n}{2(t_g \beta_y + t_g \beta_n)} + \frac{x^2 t_g \beta_y t_g \beta_n}{2(t_g \beta_y + t_g \beta_n)} \right] = 0 \quad (3.29)$$

Ejecutando las transformaciones necesarias y resolviendo las ecuaciones obtenidas con relación a x obtenemos:

$$x = \frac{(m_h - W_{fo}) t_g \beta_y t_g \beta_n}{2 t_g \beta_y} \quad (3.30)$$

El volumen del mineral útil que no es extraído puede ser determinado por la siguiente fórmula:

$$V_{m.n} = (S_1 + S_2) L_{fo} = \left[\frac{(m_h - x - W_{fo})^2 t_g \beta_y t_g \beta_n}{2(t_g \beta_y + t_g \beta_n)} + \frac{x^2 t_g \beta_y t_g \beta_n}{2(t_g \beta_y + t_g \beta_n)} \right] L_{fo} \quad m^3 \quad (3.31)$$

Donde L_{fo} es la longitud del fondo de la mina; m

Sustituyendo en la expresión (1.31) en el lugar de x su valor de la fórmula (1.30) y ejecutando algunas transformaciones, obtenemos la fórmula para la determinación del volumen mínimo del mineral útil que no será extraído.

$$V_{m.n.min} = \frac{(m_h - W_{fo}) t_g \beta_n L_{fo}}{4} \quad m^3 \quad (3.32)$$

Las fórmulas obtenidas para la elección de la posición obtenida del fondo de la mina con relación a los costados del yacimiento y la determinación del volumen de mineral que no será extraído son exactos, solamente en condiciones minero-geológicas simples (ángulos de taludes del bordo no laboral desde la mina desde la dirección de

los costados colgantes y yacentes son iguales. Los costados colgantes y yacente del yacimiento varían no significativamente según la longitud del campo de la mina y otros).

Para condiciones más complejas estas fórmulas tendrán una forma más compleja.

Los ángulos de los taludes de los bordos de la mina en el momento de agotamiento de los trabajos minero se determinan por dos factores: por la construcción de bordo y por las condiciones del equilibrio estable de las rocas que los constituyen. En relación a los factores constructivos al bordo de la mina puede incluir los taludes de los escalones, de las normas de seguridad y de transporte, las bases de las trincheras capitales. El ángulo del talud del bordo de la mina es:

$$\beta_f = \text{Arctg} \frac{H_f}{\sum h_{a.c} \text{ctg} \alpha + \sum b_p + \sum b_t + \sum b_{ft}} \quad (3.33)$$

Donde H_f profundidad de la mina, m; h_a es la altura de los escalones, m; α ángulo de talud de los escalones, grados; $\sum h_a$ es Ct $\sum b_p$ $\sum b_{ft}$ es el ancho total (suma) de las proyecciones horizontales de los taludes de los escalones, de las bermas de seguridad, de las bermas de transporte y de las bases de trincheras capitales respectivamente.

El ancho de las bermas de transporte depende del tipo y la intensidad del movimiento del transporte de mina. En el transporte automotor ella se elige en los límites de 5-10 y 8-20 m respectivamente y para el movimiento de una vía y de doble vía. Para el transporte por Ferrocarril con movimiento en una vía única ella es igual a 8 m y en dos vías 12-14 m.

$$b_t = Z + T + K \quad m \quad (3.34)$$

Dónde:

$Z = h_{a.es} (\text{Ctg} \alpha_{t,n} - \text{Ctg} \alpha_{t,l})$ es el ancho de la base del prisma del derrumbe posible, (m);

$h_{a.es}$, es la altura del escalón, (m);

α_n , es el ángulo del talud natural, (grados)

α_l ; es el ángulo del talud del escalón laboral, (grados);

$T = 4-7,5$ es el ancho de la banda (vía) de transporte, m; $K = 0,5 - 0,7$ es el ancho de la mina (m).

El ancho de la base de las trincheras capitales en el movimiento de vía única y de dos vías se toma entre 7,6 y 11,5 respectivamente.

El ángulo posible máximo B_b del talud del bordo de la mina según los factores de seguridad dependen en lo fundamental de las propiedades físico-mecánicas de las rocas, que componen el bordo de la dirección de los planos de estratificación con relación al bordo, la profundidad de la mina y de la forma del bordo en el plano. Con el aumento de la profundidad la estabilidad del bordo varía. El bordo cóncavo es más estable, que el plano, convexo. El ángulo B_b depende también de los propiedades de inundación y de infiltración de las rocas, que componen el bordo, por el tiempo de permanencia del bordo, y de las condiciones climáticas. El ángulo B_b , que fue determinado por cálculos teóricos, es orientativo y se corrige en el proceso de ejecución de los trabajos mineros.

Tabla 1.2

ROCAS	Coeficiente de Fortaleza (F)	Ángulo del talud del bordo en profundidad de la mina a cielo abierto (m)			
		Hasta 90°	Hasta 180°	Hasta 240°	Hasta 360°
En un nivel alto, fuerte y muy fuerte	15 - 20	60 – 68	57 - 65	53 - 60	48 - 54
Fuerte y suficientemente fuerte	8 - 14	50 – 60	48 – 57	45 – 53	42 - 48
Fortaleza media	3 - 7	45 – 50	41 – 48	39 – 45	36 - 43
Suficientemente débil	1 - 2	30 – 43	28 – 41	26 – 39	24 - 36
Blandas	0,6 - 0,8	21 - 30	20 - 28		

De los valores del ángulo del talud, que son determinados según estos dos factores, se toma, el valor mínimo, el cual garantiza el nivel necesario de seguridad y volumen mínimo de los trabajos de escombros en los límites finales de la mina. Se debe señalar, que la disminución del ángulo del talud del bordo solamente en un grado en profundidad de la mina de 200 m y el ángulo del talud de 35-45 provoca el aumento del volumen de escombros en 0,8 -1 millón de m³ por cada Km del bordo.

El ángulo del talud del bordo de trabajo de la mina se encuentra en los límites de

10 -20. La oscilación del ángulo del talud del bordo laboral en el tiempo no provoca el cambio del volumen de escombros en los contornos finales de la mina, no obstante ella conduce a la valoración de los volúmenes de escombros corrientes, lo que puede ser utilizado para la regulación de la distribución de los volúmenes anuales de escombros durante período de tiempo prolongados.

Las reservas de mineral útil determinan la escala posible de la extracción, el plazo de existencia de la mina y los índices económicos de la explotación. Las reservas de mineral útil según su significado económico se dividen en; de balances y fuera de balance. Las de balance se les denominan a las reservas, que satisfacen las exigencias de las condiciones, Planteadas por el consumidor.

3.3 Cálculo del volumen extraído de escombros de las minas

Volumen que será extraído:

$$V = 0.5H^2 (\cot \delta_y + \cot \delta_c) \quad (3.35)$$

Donde: δ_y , δ_c son los ángulos del talud del bordo que corresponde al costado yacente y colgante del yacimiento.

3.4 Teniendo en cuenta la fórmula del índice de la cantidad de desecho:

$$ICD = (V + X) (P\beta\alpha)^{-1} = 0,5H (\cot \delta_y + \cot \delta_c) + M (1 - \beta) (M \delta_m \beta\alpha)^{-1} \quad (3.36)$$

Dónde: X – es el volumen de los desechos del beneficio, m³.

β - es la salida de concentrado de la materia prima menífera, parte de la unidad y α es el contenido de metal en el concentrado, parte de la unidad.

3.5 Profundidad de la mina partiendo del valor establecido del ICD

Profundidad de la mina partiendo del valor establecido del ICD se determina por:

$$H' = 2M \left[B (ICD \delta_p \alpha + 1) (\cot \delta_B)^{-1} \right] \quad (3.37)$$

3.6 Determinación de la profundidad final del laboreo del yacimiento por el método a cielo abierto

Considerando el ICD límite será:

$$H'_f = 2MK_\ell \lambda^{-1} (\cot \delta_y + \cot \delta_c)^{-1} \quad (3.38)$$

Donde:

K_ℓ -es el ICD límite, λ - es el ICD de irregularidad de los trabajos de destape. Supongamos que para el yacimiento (Fig.1) fue determinada la profundidad final del laboreo H'_f sobre la base del ICD de destape.

Si se establece, que el valor límite del ICD nuevamente se determina para el yacimiento que es asimilado al nivel del valor medio que existe en la rama, es decir por ello mismo se denota la tendencia a la disminución gradual de la influencia negativa en el medio ambiente; el valor medio del ICD en el futuro será menor que el que existe actualmente.

La profundidad final del laboreo H'_f , la que es determinada partiendo de la magnitud dada del ICD, se diferenciará de la profundidad que fue calculada según el ICD límite (H_f).

Este valor de la profundidad límite de la explotación corresponde a su valor del ICD límite:

$$H^*_f = 2MK'_\ell \lambda^{-1} (\cot \delta_y + \cot \delta_c)^{-1} = 2M \left[\beta (ICD \cdot \delta_m \alpha + 1) - 1 \right] (\cot \delta_y + \cot \delta_B)^{-1} \quad (3.39)$$

Dónde: $K'_\ell = \lambda [\beta (\text{ICD} \cdot \delta_m \alpha + 1) - 1]$

No obstante el ICD límite, es una magnitud económica, la cual en forma simple puede ser expresado como.

$K_\ell = (C_s - C_a) C_{es}^{-1}$ – es, donde C_a , C_s es el costo de producción de de la extracción del mineral útil, por el método a Cielo Abierto y Subterráneo, C_{es} es el costo de producción del escombreo.

Por consiguiente, la variación del ICD límite (su valor) en el cálculo del Índice de la Cantidad de Desecho corresponde a la variación del valor de los índices económicos del laboreo y la diferencia $K_\ell - K'_\ell$ es la magnitud económica, que considera el perjuicio causado a la economía nacional para los desechos de la producción. El valor de la diferencia $K_\ell - K'_\ell$ para el yacimiento puede ser aproximadamente determinado con la utilización de los índices medios de las ramas existentes C_s , C_a , C_{es} , ICD.

Analicemos, que representa el contenido económico del índice ICD. La producción, almacenamiento, conservación de cualquier cantidad de desechos es acompañada de una acción negativa en el medio ambiente y por consiguiente, ocasiona determinado perjuicio a la economía nacional.

CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CANTIDAD DE DESECHOS EN EL CASO DE ESTUDIO

Para la utilización práctica en los cálculos del proyecto es necesario argumentar los valores límites normativos del ICD para la sub-rama de la región, el que se determina por el valor medio de la rama o argumentarlo económicamente, lo que permite ejecutar la valoración de la mina a cielo abierto, elegir los parámetros y la tecnología de los trabajos teniendo en cuenta el factor ecológico.

Examinando en el caso de estudio, como influye el cambio orientado hacia el objetivo de aplicar el ICD o teniendo en cuenta su valor límite en la determinación de los contornos de la mina. Si es conocida la profundidad y los ángulos de los taludes de los bordos de la mina, entonces $P=HM\delta_P$,

Donde: P – es la cantidad de mineral útil, que será extraído de los contornos de la mina, t ; H – es la profundidad de la mina m ; M – potencia del cuerpo menífero, m ; δ - es la densidad de las menas t/m^3 [3].

4.1 Determinación de la racionalidad económica de la explotación a cielo abierto según el coeficiente de escombros límite H_k con la utilización del ICD ($H'k$).

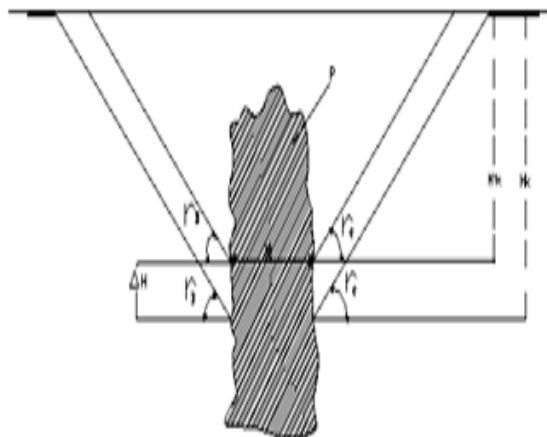


Figura 4.1

El volumen de escombro que será extraído en los contornos de laboreo según la Fórmula (1.35) será:

$$V = 0,5H^2(Ctg\gamma_y + Ctg\gamma_c)$$

$$V = 51829,14m^3$$

Donde γ_y y γ_c son los ángulos del talud del bordo que corresponde al costado yacente y colgante del yacimiento.

Teniendo en cuenta la fórmula (1.36) el índice de la cantidad de desechos (ICD)

$$ICD = (V + X)(P\beta\alpha)^{-1} = [0,5H(Ctg\gamma_y + Ctg\gamma_c)] + M(1 - \beta)(M\gamma_m\beta\alpha)^{-1}$$

$$ICD = [0,5H(Ctg\gamma_y + Ctg\gamma_c)] + M(1 - \beta)(M\gamma_m\beta\alpha)^{-1}$$

$$ICD_{límite} = 1.99 \quad m^3/t = 5.05m^3/m^3$$

Donde X es el volumen del desecho del beneficio, m^3 ; β es la salida de concentrado de la materia prima menífera, parte de la unidad y α es el contenido de metal en el concentrado, parte de la unidad.

Según la fórmula 1.37 la profundidad final del laboreo del yacimiento por el método a Cielo Abierto, que se determina según el ICD será:

$$H'_f = 2MK_l\lambda^{-1}(Ctg\gamma_y + Ctg\gamma_c)^{-1}$$

$$H'_f = 48m$$

Según lo expresado en la metodología en la determinación de la fórmula 1.38 la profundidad final del laboreo del yacimiento por el coeficiente de destape límite será:

$$H_f = 2MK'_l\lambda^{-1}(Ctg\gamma_y + Ctg\gamma_c)^{-1}$$

$$H_f = 60m$$

Como se puede apreciar la profundidad final de la cantera disminuye en un 20 % o sea en 12 m. La aplicación del método en otros yacimientos de cromo permitió disminuir la profundidad final de la mina en un 30 %.

Relación del ICD y el coeficiente de destape límite.

$$ICD = [0,5H(Ctg\gamma_y + Ctg\gamma_c)] + M(1 - \beta)(M\gamma_m\beta\alpha)^{-1}$$

Donde K'_l es el coeficiente límite de destape, λ es el coeficiente de irregularidad de los trabajos de escombreo: Supongamos que para el yacimiento (figura 1.4) fue determinada la profundidad del laboreo H_f sobre la base del coeficiente límite de destape.

De lo que se trata es, de la determinación los parámetros de diseño de la mina a Cielo Abierto que explotará el yacimiento sobre la base del valor límite del ICD por el cual se toma el medio en la rama, es decir por esto mismo se establece la tendencia a la disminución gradual del impacto negativo en el medio ambiente; el valor medio del ICD en el futuro será menor que el existente actualmente.

La profundidad final del laboreo H'_f , la que es determinada partiendo de la magnitud dada por el ICD, se diferenciará de la profundidad a que fue calculada según el coeficiente límite de destape, H_f (figura 1) en %

Para disminuir las pérdidas de mineral en el yacimiento se aumenta la profundidad final del laboreo en 12m (altura de escalón), sin desplazar los bordos de la mina

$$H'_f = 48 + 12 = 60 \text{ m}$$

De esta manera se logra alcanzar la extracción de todo el cuerpo mineral disminuyendo la cantidad de escombro vertido en un 20 %

A este valor de la profundidad final del laboreo le corresponde su valor del coeficiente límite de destape de:

$$H'_f = 2MK'_l\lambda^{-1}(Ctg\gamma_y + Ctg\gamma_c)^{-1} = 2M[\beta(ICD * \gamma_m\alpha + 1) - 1](Ctg\gamma_y + Ctg\gamma_c)^{-1}$$

$$ICD = \left[0,5H(Ctg\gamma_y + Ctg\gamma_c) \right] + M(1 - \beta)(M\gamma_m\beta\alpha)^{-1}$$

$$ICD = 5.05 \frac{m^3}{m^3}$$

De donde:

$$K'_l = \lambda[\beta(ICD * \gamma_m\alpha + 1) - 1]$$

$$K'_l = 5.6 \frac{m^3}{m^3} ; \text{ que es muy inferior al } 7 \frac{m^3}{m^3} \text{ por las consideraciones económicas.}$$

No obstante el coeficiente límite de destape es una magnitud económica, la cual en forma simple puede ser expresada como $K_l = (C_s - C_a)C_{es}$, donde C_a , C_s es el costo de producción de la extracción del mineral útil por el método a Cielo Abierto y Subterráneo, C_{es} es costo de producción del escombro. Por consiguiente, la variación del valor del coeficiente límite (su valor) en el cálculo del Índice de la Cantidad de Desechos corresponde a la variación del valor de los índices económicos del laboreo, y la dependencia $K_l - K'_l$ es la magnitud económica que considera el perjuicio causado a la economía nacional por los desechos de la producción minera y beneficiadora.

Sustituyendo en la fórmula para nuestro caso $7 - 5.6 = 1.4$, por lo que se reduce el perjuicio causado al medio ambiente en un 20 %.

El valor de la diferencia $K_l - K'_l$ para un yacimiento puede ser determinado aproximadamente con la utilización de los índices medios de las ramas existentes C_s , C_a , C_{es} , ICD.

Si se examina, lo que representa el contenido económico del ICD.

La producción, almacenamiento, conservación de cualquier cantidad de desechos es acompañado de un impacto negativo sobre el medio ambiente y por consiguiente determinado perjuicio a la economía nacional.

Cualquier unidad de desechos ΔV_0 provoca determinado perjuicio económico ΔY . Por consiguiente se puede considerar que estas magnitudes están relacionada por la

expresión: $\Delta P = K_p V_o$, Donde K_p es un coeficiente de proporcionalidad (denominado coeficiente del perjuicio), es decir, el perjuicio económico que es causado por la unidad de volumen de desechos: En el perjuicio P que es causado en la obtención en una unidad de producto: $Y = K_p * ICD$ Para los cálculos detallados es necesario tener los valores argumentados de la Magnitud del ICD para las distintas ramas, regiones económicas, distintos territorios etc.

Por eso es necesario establecer para los cálculos fiables del perjuicio económico producto de la alteración del medio ambiente, la argumentación de los diapasones de variación y de los períodos de tiempo, durante los cuales se calcularán los valores de este coeficiente.

Para cálculos aproximados K_p puede ser determinado partiendo de los valores medios de las ramas. El contenido económico de la diferencia $K_l - K'_l$ representa el valor del perjuicio producto del impacto sobre el medio ambiente de los desechos, que son obtenidos durante la producción de la unidad de producto:

$$K_e - K'_e = (C_s - C_a) C_{es}^{-1} - (C_s - C_a - K_p * ICD) C_{es} = K_p * ICD * C_{es}^{-1}$$

Si en la proyección del laboreo a Cielo abierto de nuevos yacimientos se establece el valor límite del ICD sobre la base del existente en el nivel medio de la rama, entonces, como mostraron los cálculos, la profundidad racional del laboreo puede reducirse

20 – 30 %. El ICD debe determinarse para distintos períodos, que caracteriza la actividad de la empresa, la dinámica de su desarrollo: el período de construcción, asimilación de la capacidad productiva proyectada, la asimilación de la capacidad productiva del escombro, del trabajo a capacidad productiva completa, agotamiento de la explotación del yacimiento.

La magnitud K_p indudablemente tiene valores diferenciados para distintas ramas regiones económicas en dependencia del valor de los recursos naturales del nivel de reforestación y de asimilación de los territorios.

CONCLUSIONES GENERALES

1. El índice de la cantidad de desechos permite diseñar los parámetros de la mina de cromo Victoria I controlando la reducción del vertimiento de desechos.
2. El índice de la cantidad de desechos de contorno y corriente facilita reducir la cantidad de desechos vertidos al medio ambiente durante la explotación de los yacimientos de cromo en un 25-30 %.
3. El ICD permite determinar la reducción del perjuicio económico causado al medio ambiente por la unidad de desechos vertidos en 20 %.
4. El establecimiento del valor límite del ICD como el promedio de la rama permite que en la entrada en la explotación de nuevos yacimientos la cantidad de desechos vayan disminuyendo.

RECOMENDACIONES

- 1 Realizar el estudio de la aplicación del ICD a la explotación de los yacimientos lateríticos.
- 2 Utilizar este informe para futuras referencias en asignaturas relacionadas con la temática tratada y/o futuras investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Arriete. Resolución 77/99 Reglamento del Proceso de Evaluación de Impactos Ambientales.
2. Ayala, Carcedo, F. J. et al. (2004). La Identificación de Alteraciones
3. Bolea Esteban. (1989). Buró Central de Desarrollo de New York
4. Decreto No 222/1997 .Reglamento de la Ley de Minas.
5. Decreto No 222/1997 .Reglamento de la Ley de Minas. Ley No 81/1997 de Medio Ambiente.
6. Domínguez, Ing. Jorge L. Informe Técnico sobre el cálculo de reservas minables del Yacimiento Nieves Morejón.
7. Enrique Pérez, Dr. José. Proyecto de actualización de la Cantera Nieves Morejón en la provincia S. Sptus. (Año 2003).
8. Enrique, José (2001) Proyecto de actualización de la cantera Arriete.
9. Enrique, José (2001) Proyecto de Actualización de la cantera Arriete.
10. Evaluación del Impacto Ambiental. En: Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. Instituto Tecnológico GeoMinero de España: pp. 59-71. NC 251: 2005, Áridos para Hormigón.
11. Hernández Sampier, R. (2004): Metodología de la Investigación, Tomo 1 y 2. 17. Editorial Félix Varela. La Habana.
12. Herrera de La Rosa, Ms. Rosa. Áridos para hormigones. Especificaciones y ensayos. Herrera de la Rosa, Rosa y Gayoso Blanco, Regino. Áridos para hormigón.
13. Juan Herrera Herbert. Métodos de minería a Cielo Abierto, octubre (2006)
14. Kplunov. D.R. Problemas Fundamentales de la Asimilación de la Corteza terrestre en el Laboreo de los Yacimientos Revista Minera 1999 No. 1
15. Krasavin A. P. et al. Fundamentos de la rehabilitación minero técnica de las escombreras Cheliabinsk NII OGR, 2011.
16. Laboreo de los yacimientos meníferos por el método a cielo abierto Magnitogorsk, Instituto Politécnico de Magnitogorsk, 2009, página 42 a la 49.
17. Ley No 76/1995. Ley de Minas.
18. Ley No 76/1995. Ley de Minas.

19. Ley No 81/1997 de Medio Ambiente.
20. Lomonosov G.G. Caulimetría Minera Manual de Estudio Universidad Minera de Moscú, Moscú 2000.
21. López, Carlos (1987) Manual de perforación y voladura.
22. Shtakov V.A. et al. Laboreo de los yacimientos de los minerales útil y utilización racional de los recursos naturales. Universidad Técnica de San Peters Burgo Rusia, 2010.
23. Sitios Internet:
 - <http://revista.ismm.edu.cu./index.php/revistamg/article/view/142>
 - <http://www.ecured.cu>
24. Soto González, Luis. Apuntes sobre la historia de la minería en cubana.
25. Suros, Juan (1980). Informe de exploración orientativa y detallada porfiritas.
26. Valle Valdés, Ing. Oscar. Estudio de Impacto ambiental de la Cantera Nieves Morejón.
27. Watson Quesada, Dr. C. Roberto L. Conferencia sobre los problemas fundamentales que se presentan actualmente en la explotación de canteras de materiales de construcción.

ANEXOS

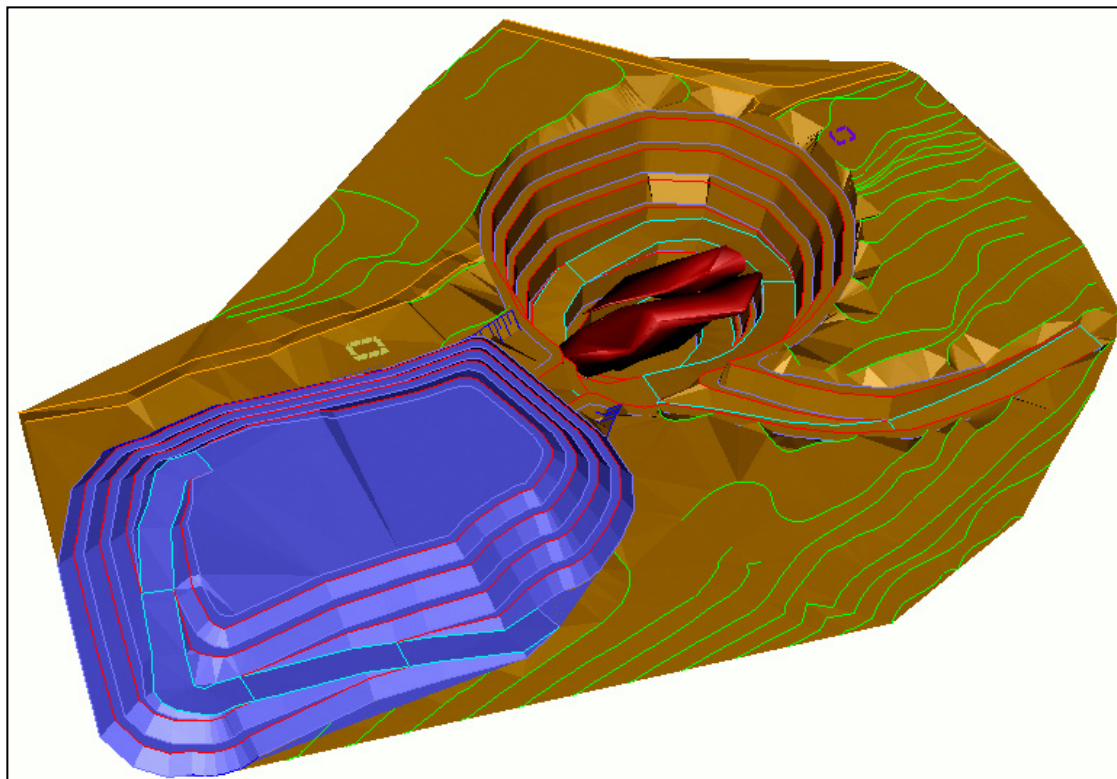


Figura N°. 1 Vista 3D proyección de la escombrera

