

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

SELECCIÓN DEL DISEÑO ÓPTIMO EN FUNCIÓN DE PARÁMETROS OPERATIVOS EMPLEANDO HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA UNA CANTERA DE METACALIZA DE USO INDUSTRIAL

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Gomez De Faria, Berardo
Para optar al Título
de Ingeniero de Minas

Caracas, 2013

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**SELECCIÓN DEL DISEÑO ÓPTIMO EN FUNCIÓN DE
PARÁMETROS OPERATIVOS EMPLEANDO HERRAMIENTAS
INFORMÁTICAS PARA UNA CANTERA DE METACALIZA DE
USO INDUSTRIAL**

TUTORA ACADÉMICA: Prof. Aurora Piña

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Gomez De Faria, Berardo
Para optar al Título
de Ingeniero de Minas

Caracas, Junio, 2013

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Berardo Gómez, titulado:

“SELECCIÓN DEL DISEÑO ÓPTIMO EN FUNCIÓN DE PARÁMETROS OPERATIVOS EMPLEANDO HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA UNA CANTERA DE METACALIZA DE USO INDUSTRIAL”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Minas, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Omar Márquez
Jurado

Prof. María Teresa Artigas
Jurado

Prof. Aurora Piña
Tutor Académico

DEDICATORIA

Deseo dedicar el presente Trabajo Especial de Grado a mis padres, María y Manuel, por todo el apoyo ofrecido durante mi educación. Sin ellos no podría haber logrado esto. Además, me gustaría dedicar este esfuerzo a mi novia, Greicy, por todos sus consejos y aliento. De la misma forma quiero mencionar a toda mi familia por sus incontables palabras de aliento y apoyo para lograr este triunfo. También quiero dedicarles este esfuerzo a mi abuelo y mi tía Luisa por siempre darme su apoyo y servirme de motivación.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecerle a la honorable Universidad Central de Venezuela por ofrecerme todo su conocimiento y colaboración en mi formación profesional. Igualmente, quiero ofrecer un especial agradecimiento a mi tutora académica, Prof. Aurora Piña, por todo su apoyo, consejos y colaboración ya que sin su constante ayuda, el desarrollo de este trabajo sería mucho más difícil.

También quiero agradecer a los profesores de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, especialmente a los profesores del Departamento de Minas, por toda su colaboración en estos años de formación y la elaboración de este Trabajo de Grado. De igual forma, quiero agradecerle al personal administrativo de la Escuela y a todos mis compañeros de estudios por su apoyo constante.

Caracas, 2013

Gomez De Faria, Berardo

**SELECCIÓN DEL DISEÑO ÓPTIMO EN FUNCIÓN DE PARÁMETROS
OPERATIVOS EMPLEANDO HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA
UNA CANTERA DE METACALIZA DE USO INDUSTRIAL**

**Tutora Académica: Prof. Aurora Piña. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Minas. Año 2013, p. 108**

Palabras Claves: diseño, fosa, cantera

Resumen.

El presente trabajo tiene como objetivo principal el determinar el diseño óptimo de producción a corto plazo y fosa o *pit* de una cantera de metacaliza empleando herramientas informáticas y considerando parámetros técnicos y operativos para el mejoramiento del rendimiento, producción y seguridad de las operaciones. El diseño se ha realizado empleando el método de fosa abierta con bancos descendentes desde el nivel 230 al nivel 240. Los elementos de diseño óptimos seleccionados para la fosa o pit final son bancos de 10 m de altura, ancho de bermas de 7.5 m, ángulo de talud general de 45° y ángulo de pared de banco en 75°. Estos parámetros permiten la explotación racional del yacimiento con una relación de remoción general de 0.400. Además, se han realizado la planificación y diseño de la cantera para tres años cumpliendo con los requerimientos de producción. De igual manera se realizan varias recomendaciones como la realización de estudios geotécnicos y geo-hidrológicos detallados.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
CAPITULO I.....	12
I.1 Planteamiento del problema	13
I.2 Objetivo general	14
I.3 Objetivos Específicos	14
I.4 Justificación	14
I.5 Alcance	15
CAPITULO II.....	16
II.1 Ubicación del área de estudio, extensión, acceso	17
II.3 Relieve y linderos de la Propiedad	17
II.3 Drenaje Regional y Local	18
II.4 Expresión Geomorfológica de la Parcela.....	18
II.5 Geología.....	18
a. Marco Geológico Regional	18
b. Geología del Área de la Cantera	19
c. Elementos Estructurales.....	21
CAPITULO III.....	22
III.1. Antecedentes de la Investigación.....	23
III.2 Fundamentos Teóricos	24
a. Conceptos Básicos	25
b. Modelaje de Yacimientos	28
c. Cálculo de Reservas.....	31
d. Diseño de Mina a Cielo Abierto.....	42
e. Planificación de Minería	48
f. Diseño de Vías de Acarreo	54
CAPITULO IV	58
IV.1. Tipo de investigación:	59
IV.2. Diseño de la Investigación.....	59
IV.3. Universo, población y muestra:	59
IV.4. Instrumentos, Técnicas y Métodos de Recolección de Datos	60

IV.5.	Análisis de los datos e Interpretación	61
IV.6.	Limitaciones	61
CAPITULO V		62
V.1	Geología y Morfología del Yacimiento	63
V.2	Perforaciones Exploratorias	64
V.3	Tipo de Rocas	64
V.4	Envolvente del Yacimiento	64
V.5	Interfaces Principales	65
V.6	Modelo Geológico	66
V.7.	Estimación de Reservas Geológicas	69
V.8.	Relación de Remoción	70
V.9.	Diseño de la Fosa Final	71
a.	Elementos Estructurales	71
b.	Parámetros de la Fosa Final	71
c.	Planificación de Explotación	75
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES		83
BIBLIOGRAFÍA		86
ANEXOS		87
	ANEXO A	88
	ANEXO B	90
	ANEXO C	106
	ANEXO D	107
	ANEXO E	108
	ANEXO F	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Diagrama del proceso de diseño.....	24
Figura 3.2. Esquema general de fosa abierta.....	25
Figura 3.3: Esquema de secciones en un yacimiento.....	33
Figura 3.4: Método por triangulación.....	34
Figura 3.5: Método de polígonos.....	35
Figura 3.6: Modelo de bloques general de un yacimiento.....	37
Figura 3.7: Modelo de bloques con bloques de diferentes dimensiones.....	38
Figura 3.8: Modelo de capas.....	39
Figura 3.9: Elementos de un modelo sólido.....	40
Figura 3.10: Mina a fosa abierta.....	42
Figura 3.11: Tipos de falla comúnmente observados en minas.....	46
Figura 3.12: Frentes operativos de una mina.....	48
Figura 3.13: Configuraciones de bancos con diversas alturas de banco.....	49
Figura 3.14: Modelo de bloque.....	50
Figura 3.15: Métodos de relación de remoción.....	51
Figura 3.16: Sistema de trituradora móvil.....	53
Figura 4.1 Ubicación general de la Cantera.....	59
Figura 5.1: Topografía base con ubicación de las perforaciones.....	64
Figura 5.2: Modelo de bloques del yacimiento.....	65
Figura 5.3: Superficie del basamento del yacimiento de caliza.....	66
Figura 5.4: Superficie de la base de estéril superior.....	67
Figura 5.5: Perfil 4 en dirección SE-NW.....	68
Figura 5.6: Perfil 10 en dirección SW-NE.....	68
Figura 5.8: Perfil de los parámetros de diseño.....	71
Figura 5.9: Vista en planta del talud.....	71
Figura 5.10: Plano general de la fosa final.....	72
Figura 5.11: Modelo de bancos en la fosa final.....	73
Figura 5.12: Perfil del talud final.....	73

Figura 5.13: Modelo de fosa al final del Año 1.....	75
Figura 5.14: Modelo de fosa al final del Año 2.....	76
Figura 5.15: Modelo de fosa al final del Año 3.....	77

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de una operación minera requiere una planificación, organización y diseño detallado y cuidadoso de todas las operaciones involucradas. Esto es cierto para todas las operaciones y proyectos mineros tanto a cielo abierto como subterráneos.

Un buen diseño de *pit* es aquel que incorpora para su elaboración factores como: necesidades de producción, estabilidad de los frentes, coherencia entre el diseño a corto plazo y el diseño a largo plazo de la Cantera, diseño de vías, zonas de explotación, zonas en recuperación, seguridad de las operaciones, mitigación de impactos ambientales, entre muchos otros elementos que deben considerarse. En pocas palabras, se puede decir que un diseño adecuado de *pit* de la Cantera es aquel que permite el cumplimiento del nivel de producción requerido, eficiencia y seguridad.

El presente trabajo de grado presenta el diseño de fosa para una Cantera de Metacaliza tomando en consideración los requerimientos de producción y factores técnicos necesarios para una operación eficiente. El trabajo está esquematizado en un capítulo I para el planteamiento, capítulo II de generalidades de la Cantera, capítulo III donde se presentaran los fundamentos teóricos empleados. Posteriormente, se presentará la metodología, resultados y su respectivo análisis en el capítulo IV y V. Por último, se mostraran las conclusiones y recomendaciones definidas.

CAPITULO I
GENERALIDADES DEL PROYECTO

En el siguiente capítulo se presentarán los elementos generales del proyecto. En primer lugar se establecerá el planteamiento del problema, luego se presentará el objetivo principal y los específicos. Posteriormente se discutirá la justificación del proyecto y el alcance del mismo.

I.1 Planteamiento del problema

La Cantera de metacaliza es una fuente para la fabricación de cemento tanto a nivel de cantidad y calidad de reservas como de capacidad de producción. Sin embargo, la operación en la Cantera se ha visto dificultada por variados elementos operativos, mantenimiento de frentes y vías, y diversas deficiencias de diseño que hacen imperativa la realización de un diseño completo de la Cantera. Esto para ayudar a solventar dichas dificultades y alcanzar los niveles de producción estimadas en 90.000 toneladas mensuales con los sistemas de trituración primaria y secundaria establecidos para la Cantera.

En la selección de este Diseño Óptimo Explotación es necesario en primer lugar evaluar completamente la situación actual de la Cantera y sus diferentes frentes de explotación. A partir de esta evaluación se podrán establecer las zonas críticas de estabilización, parámetros técnicos de operación de los equipos actuales y su capacidad instalada, y los diversos factores de seguridad tanto para taludes como frentes y vías necesarios. Al determinar estos parámetros de diseño en “*open pit*” o fosa abierta, se debe realizar un esquema óptimo para el corto plazo con el uso de herramientas en ambiente CAD siempre tomando en cuenta la seguridad, rendimiento y organización a largo plazo de la Cantera y su personal. Es importante destacar que para poder lograr un diseño adecuado a las metas se deben considerar los diversos aspectos en materia de seguridad y medio ambiente en las comunidades circundantes, siempre rigiendo el diseño a las diversas leyes ambientales, mineras y de la LOPCYMAT que apliquen. Este nuevo proyecto ingenieril pretende satisfacer un ritmo de producción adecuado a corto plazo (90.000 toneladas de caliza) y organizar las operaciones de una forma sustentable en el largo plazo. Además se logrará una

mayor seguridad para todos los equipos y personal que labore en la Cantera, mejorando de esta forma el rendimiento y productividad de las operaciones. De la misma forma, el nuevo diseño debería ofrecer diversos beneficios a las comunidades circundantes al reducir aspectos como el ruido y polvo producidos por las operaciones.

I.2. Objetivo general

Determinar el Diseño Óptimo de Producción a corto plazo y fosa o *pit* de una Cantera de metacaliza empleando herramientas informáticas y considerando parámetros técnicos y operativos para el mejoramiento del rendimiento, producción y seguridad de las operaciones.

I.3. Objetivos Específicos

1. Diagnosticar la condición actual de los diversos frentes operativos y vías de acarreo y acceso de la Cantera a la cual se le aplicará la herramienta.
2. Establecer los parámetros de diseño para la estabilidad de los taludes, frentes y vías, aplicables al caso.
3. Investigar los diversos aspectos legales y ambientales que puedan afectar el nuevo diseño.
4. Realizar un diseño de la Cantera, enfatizando las zonas a explotar en el corto plazo (modelo para 3 años).
5. Establecer un programa de producción para el diseño, estableciendo los ritmos de producción mensuales y las necesidades de equipos para lograr unos niveles de producción y rendimiento apropiados.

I.4 Justificación

La selección de un Diseño Óptimo para el *pit* o fosa de la Cantera busca, en primera instancia, incrementar significativamente la eficiencia y productividad de la explotación en el corto plazo. Esto es posible lograrlo mediante la implementación de un diseño que tome en consideración el desarrollo organizado y coherente de la cantera no sólo en el corto plazo sino también en el largo plazo para así evitar o

disminuir problemas de producción relacionados con la organización de la Cantera. En segundo lugar, un diseño adecuado es importante para establecer factores y elementos de seguridad en las operaciones que permitan disminuir los diversos riesgos asociados con las actividades mineras en la Cantera, logrando de esta forma establecer un ambiente de trabajo más seguro que contribuya a aumentar el rendimiento de las operaciones.

Otro de los aspectos importantes que se consideraran en este proyecto es la implementación de medidas ambientales que permitan contrarrestar los efectos ambientales negativos ocasionados por las actividades mineras. Este enfoque podría favorecer una mejor relación con las comunidades vecinas y un adecuado desarrollo ambiental de la Cantera.

I.5. Alcance

El Diseño para la Cantera de Piedra Metacaliza tendrá un rango de aplicación para un período de tres (3) años. El trabajo se realizará tomando en consideración aspectos como las necesidades de producción, el desarrollo esperado para la Cantera en este período y posibles incrementos en los requerimientos de producción de caliza. Sin embargo, es importante destacar que el nuevo diseño se enfocará como una parte de un diseño mayor a largo plazo; esto se hace para que el proyecto que se está preparando para el corto plazo sea coherente y favorezca el desarrollo y diseño de la cantera a mediano y largo plazo.

De la misma forma es importante destacar que el diseño no tomará en consideración aspectos financieros. Al ser una relación de distribución exclusiva entre las partes de una misma organización, no se manejan elementos de facturación interna por la materia prima suministrada.

CAPITULO II
Generalidades de la Cantera

En la siguiente sección se describirán las características principales de la zona de estudio. En primera instancia, se describirá la ubicación de la Cantera y elementos ambientales cercanos, relieve, hidrología y acceso. Posteriormente, se caracterizará brevemente la geología regional y local. Además, se presentarán los elementos estructurales principales.

II.1 Ubicación del área de estudio, extensión, acceso

La Cantera de Metacaliza está ubicada, en líneas generales, en el cruce de las coordenadas UTM N: 1.121.100 E: 747.800, aproximadamente a 4 Km. al noreste de Ocumare del Tuy. Políticamente está localizada en el Municipio Tomas Lander, del estado Miranda.

El acceso de la misma se logra a través de una carretera asfaltada hasta Ocumare del Tuy; así como también a través de la carretera nacional que va hacia Tocarón, de la misma población de Ocumare. El área de la Cantera se reduce aproximadamente a nueve (9) hectáreas.

II.3 Relieve y linderos de la Propiedad

El sitio de Cantera constituye una expresión topográfica emergente, del lado noreste del valle del Río Tuy, que alcanza la altura máxima de 260 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar).

Desde esa topografía máxima, en el extremo oriental de la propiedad, el terreno disminuye su altura hacia el oeste; primero bruscamente, en los primeros 150 m, por el desarrollo del frente de explotación y luego, algo más suave, hasta el extremo occidental de la propiedad donde se mantiene en los niveles de inundación del río Tuy.

El lote de terrenos de la Cantera está conformado dentro de los siguientes linderos:

Norte: con el río Tuy, en medio con las fincas denominadas “Colón” y “Ave María”.

Este: con las posesiones denominadas “El Ancón Galindo”, “Tocarón” y “Lagartijo”

Oeste: Con la Hacienda Rangel

Sur: con la Hacienda Rangel y la quebrada de Miguel.

II.3 Drenaje Regional y Local

El área de estudio está localizada fisiográficamente en la ribera oriental de la cuenca media del Río Tuy, en un sector de rápido desarrollo urbano y presencia de pequeñas fincas agropecuarias y asentamientos industriales. En este sector la altura media (m.s.n.m.) del cauce del río es de aproximadamente 155 m. En este trayecto, el ancho del valle aluvial del Río Tuy varía entre 500 y 1.000 m.

Todo el drenaje regional está controlado por el Río Tuy, siendo la Quebrada de Miguel un curso de agua menor, que bordea la parcela de la cantera, por su lado noreste y que desemboca, igualmente en el Río Tuy.

Es de considerar que el extremo occidental de la parcela (área del polvorín), con una altura de aproximadamente 160 m.s.n.m, está cercano a los 100 m del canal de Río Tuy. Estos elementos son destacados porque en el sector oeste de la Cantera, la caliza está presente hasta la cota 165 m, aproximadamente.

II.4 Expresión Geomorfológica de la Parcela

En general el área de la Cantera, varía en un rango de altura entre 150 y 290 m (s.n.m), y puede dividirse, desde el punto de vista geomorfológico, en dos partes. La parte oriental, con una topografía irregular, fuertemente influenciada por la ocurrencia de caliza, con alturas entre 290 y 180 m, y la parte occidental, de morfología moderada y suave pendiente hacia el oeste, con presencia de caliza debajo de un delgado espesor de sedimentos recientes.

Aproximadamente en la parte central norte de la parcela existe una depresión que alcanza la cota 160 m. Hacia el oeste la propiedad alcanza parte de la llanura aluvial del Río Tuy.

II.5 Geología

a. Marco Geológico Regional

El yacimiento de caliza de la Cantera, así como el peñón de Ocumare, está ubicado geológicamente en el borde norte de la denominada “Faja de Paracotos”. Se presentan como dos bloques alóctonos, de edades diferentes, embebidos en una secuencia espesa de rocas volcánicas y volcano-clásticas, metamorfizadas, pertenecientes a la Formación Paracotos.

Ambas expresiones geológicas constituyen los dos afloramientos de caliza más importantes cercanos a Ocumare del Tuy; sin embargo, presentan características litológicas y edades distintas. El “Peñón de Ocumare” es Cretácico mientras que “El Peñón de San Bernardo” parece ser de edad Paleoceno. En todo caso, lo que hay que destacar, es que ambos han constituido importantes yacimientos de caliza, de alto contenido de carbonato de calcio y por lo tanto, de gran significado económico para la industria cementera.

b. Geología del Área de la Cantera

b.1 Generalidades

El yacimiento de caliza de la Cantera tiene una manifestación superficial ligeramente alargada en dirección noroeste, sureste, con una expresión geomorfológica relevante solo en su mitad oriental, en la cual alcanza la altura máxima de 264 m. La mitad noroeste está definida por una superficie semi-plana, con alturas que varían entre 180 y 170 m. En el sector central norte se destaca un área de aproximadamente 750 m² con cota general de 160 m.

b.2 Relación con el Basamento

El cuerpo calcáreo del yacimiento parece ser parte de un bloque alóctono, originalmente de mayores dimensiones, embebido en una secuencia espesa de rocas volcánicas, volcано-clásticas y rocas gnéissicas asociadas, fuertemente meteorizadas. Actualmente se manifiesta como un cuerpo deforme irregular inclinado hacia el suroeste.

Solo en el extremo oriental del área de afloramiento, es posible reconocer algunas manifestaciones de rocas intrusivas y volcánicas metamorfizadas, que conforman el complejo litológico del basamento. En este sector fue posible identificar diferentes tipos litológicos como gneises porfiroblásticos, rocas volcánicas andesíticas, etc., fuertemente meteorizadas; en lo que puede ser una relación tectónica, más que estratigráfica. Esta relación entre los dos tipos litológicos, pudo haberse visualizado con mayor claridad, con la apertura de trincheras perpendiculares al contacto entre las dos litologías.

b.3 Yacimiento de Caliza

El yacimiento de caliza ha sido caracterizado como un bloque alóctono de caliza masiva, embebido en una secuencia espesa de roca volcánica, metamorfizada; lo cual sugiere su discontinuidad a profundidad o falta de raíz. Esto ha sido confirmado en las perforaciones realizadas, las cuales señalan igualmente, un límite inferior muy irregular.

b.4 Tipos litológicos

Como se definió originalmente, el yacimiento está caracterizado por una roca masiva, casi desprovista de estratificación. Sin embargo, es posible reconocer por lo menos (4) tipos litológicos, como se señala a continuación: caliza gris claro, caliza gris plomo, caliza negra, arenisca poco consolidada.

Estos elementos litológicos, aunque perfectamente diferenciables en el campo, siguiendo criterios físicos como color, textura, granulometría, contenido fosilífero, entre otros, no tienen significado químico, ni tienen posición estratigráfica definida. El contacto entre los distintos tipos litológicos es transicional o imperceptible. Se usó este criterio de campo, como una guía para tratar de establecer una equivalencia litológica y química dentro del área del yacimiento. Sin embargo, la ausencia de suficientes valores químicos no permitió hacer una correlación confiable.

- ***Caliza gris claro***

Este tipo litológico corresponde a una caliza grano fino, color gris claro, fosilífero, masivo, ligeramente foliado, donde se aprecian finos cristales de pirita diseminados en la roca. La observación de campo y la revisión de los núcleos sugieren que esta litología es la segunda más abundante después de la caliza gris plomo. Con frecuencia presenta venas irregulares de calcita y abundantes cavernas menores.

- ***Caliza gris plomo***

La caliza gris media o gris plomo, es una roca grano fino a muy fino, que no desarrolla estratificación, de color algo más oscura que la caliza gris claro. Esta roca constituye el tipo litológico más abundante en el área del yacimiento, como se observa en superficie. Se observó que este “tipo litológico” pasa gradualmente a la caliza negra

- ***Arenisca Inconsolidada***

En el noroeste de la Cantera, se reconoció la presencia de una litología que aunque no es representativa forma parte de las diferentes rocas que componen la Cantera, una de ellas es la arenisca de grano fino a limoso no calcáreo de un espesor no mayor a 3 m, poca consolidación que se encuentran en varios sondeos. Esta constituye una excepción litológica de la columna estratigráfica calcárea que se encuentra en el lado noroeste de la Cantera, cuyos espesores no sobrepasan los 2 m.

c. Elementos Estructurales

c.1 Fallas, Diaclasas, Foliación

Como ha sido indicado previamente, el yacimiento corresponde a un bloque atrapado en el sistema de fallas que definen las fajas tectónicas de Paracotos y Villa de Cura, lo cual limita las dimensiones del yacimiento. A pesar de que la relación caliza-basamento es un contacto tectónico, en sus inmediaciones no se reconoció la existencia de fallas visibles, ni pliegues en la estructura sedimentaria.

Consecuencia de la estratificación masiva, igualmente es muy difícil reconocer los límites de los estratos, a menos que haya un cambio litológico, lo que solo se observa cuando se intercala la arenisca de grano fino a limoso o algunos lentes de arcilla.

Lo masivo de la estratificación de la caliza contrasta con la proliferación de sistemas de diaclasas de 50 cm. a 1 m de separación, frecuentes en el yacimiento.

CAPITULO III
Marco Teórico

A continuación se reseñara brevemente algunos antecedentes de la presente investigación. Estos antecedentes integran conceptos y conclusiones que han sido importantes en la realización del proyecto.

III.1. Antecedentes de la Investigación

a. Título: “Diseño Preliminar de Fosa” para el Proyecto de Oro-Cobre de Prosperity, propiedad de Taseko Mines Limited.

Autor: Knight Piésold Consulting.

Objetivo: En este estudio preliminar se evalúan los parámetros geotécnicos y de diseño principales para una mina a cielo abierto. Se presta gran atención en el análisis de los parámetros geológicos y geotécnicos de la mina y el desarrollo de taludes variables para siete sectores de la mina para asegurar la mayor estabilidad.

b. Título: Trabajo Especial de Grado “Plan de Explotación de la Cantera de San Bernardo ubicada en el Municipio Tomás Lander del estado Miranda”

Autor: Ronald R. Saya G.

Objetivo: De forma general el objetivo principal de este estudio fue establecer un Plan de Explotación a largo plazo para la cantera de San Bernardo, considerando diversos aspectos relacionados con las condiciones geológicas del yacimiento, las metas de producción establecidas por la Planta y la viabilidad ambiental del proyecto.

c. Título: “Estudio de Impacto Ambiental del Yacimiento de Caliza “San Bernardo” del año 2007”

Autor: GEOCONSULTA, C.A.

Objetivo: El objetivo fundamental del estudio es presentar el Proyecto de continuación de las actividades de Extracción de piedra caliza en la Cantera de San Bernardo. Este informe debe ser revisado cada año y presentado ante el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

III.2 Fundamentos Teóricos

Las canteras usualmente son diseñadas y explotadas en forma de fosa abierta. Una **fosa abierta o pit** es una excavación que se realiza desde la superficie del terreno con la intención de extraer una mena y que permanece a cielo abierto durante la vida de la mina. Al final de la operación la imagen general de la mina o cantera se asemeja a una pirámide invertida. Como en cualquier operación minera comercial el objetivo principal es la explotación del mineral(es) al costo más bajo posible para poder maximizar los beneficios de la actividad. Para poder lograr este objetivo, la selección de los parámetros físicos de diseño y el programa de extracción de mena y estéril son decisiones ingenieriles de alta complejidad e importancia.

El diseño de una mina a fosa abierta se realiza en varias etapas, tal cual como se muestran en la Figura 3.1. A nivel general, se refieren a diseñar un esquema o conjunto de esquemas u opciones de diseño, para evaluarlas y seleccionar un esquema o diseño óptimo para la mina o cantera en particular. El diseño más económico frecuentemente depende de varios factores que no están dentro del control del ingeniero o empresa, tales como la geometría del yacimiento, elementos geotécnicos del mismo, avances tecnológicos, limitaciones legales y ambientales, topografía del terreno, entre otros. Sin embargo, existen varios factores como la selección de las relaciones de explotación, tasas de producción, selección de equipo y diseño general de la fosa y bancos de producción delimitan la economía del programa minero. Es por eso que estos elementos deben ser estudiados con mucho detalle para alcanzar un diseño óptimo. En las siguientes subsecciones se presentaran los fundamentos teóricos que son empleados regularmente en el diseño de fosas abiertas, desde el modelaje del yacimiento y cálculo de reservas hasta el diseño del límite de la fosa y vías de acarreo. Además se incluye una subsección para tratar fundamentos básicos de los avances en programas informáticos que sirven de ayuda al profesional de ingeniería de minas en el diseño y programación de mina.

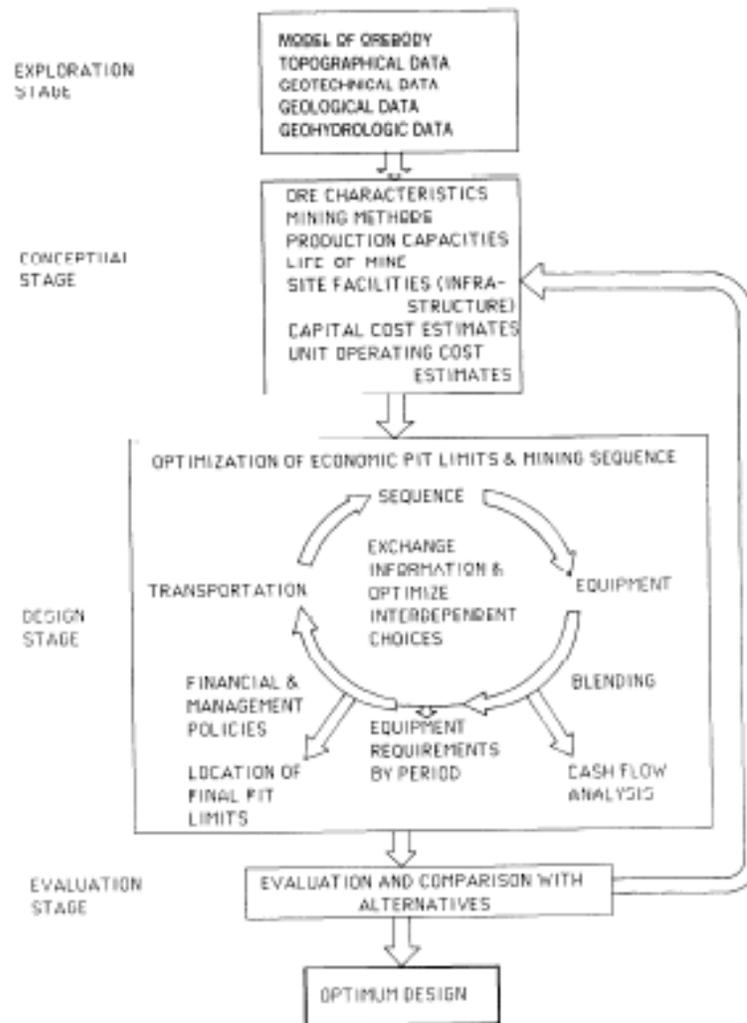


Figura 3.1. Diagrama del proceso de diseño (Fuente: SME, 1992)

a. Conceptos Básicos

En las operaciones de minas a cielo abierto se han asociado varios términos o conceptos particulares para este tipo de minería, incluyendo la operación de canteras. Los siguientes conceptos son empleados en el diseño y planificación de minas a fosa abierta (*open pit*, en inglés) y son empleados en el presente trabajo. De acuerdo a SME (1992), varios de los términos se muestran en la Figura 3.2 en donde se muestra un modelo de yacimiento tubular.

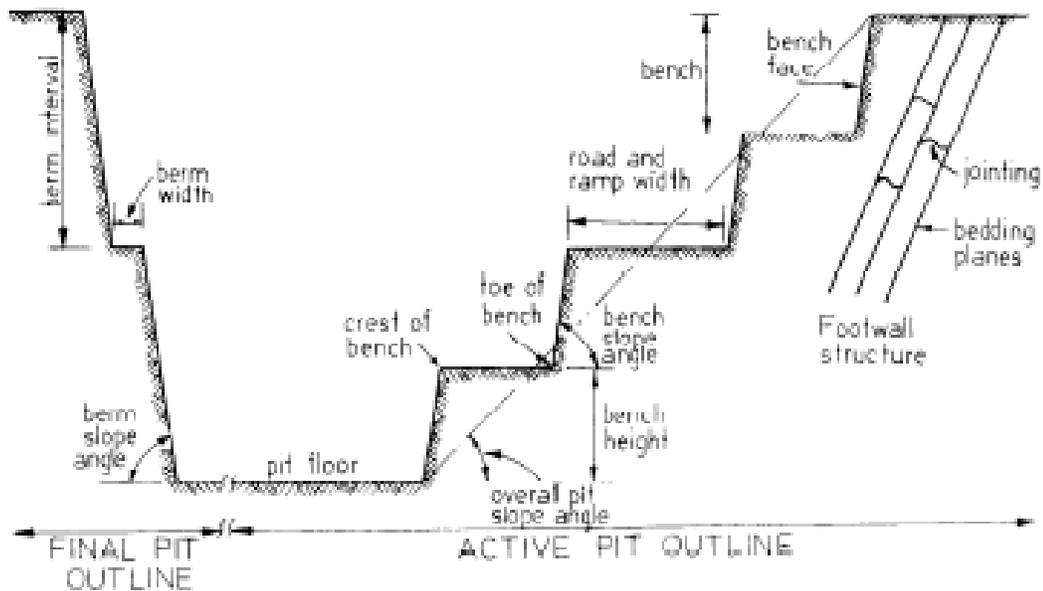


Figura 3.2. Esquema general de fosa abierta con varios de sus elementos característicos (Fuente: SME, 1992)

Banco: puede ser definido como la terraza que forma un nivel de operación donde se puede minar mena o estéril. Generalmente los bancos se definen con la cota del piso correspondiente, por ejemplo Banco 140 se refiere a la terraza de operación establecida en la cota 140 m.

Altura de banco: es la distancia vertical medida desde el punto más alto del banco, definido como *cresta del banco*, y la base o *pie del banco*. Es de uso normal en la industria que los bancos en una misma mina o cantera tengan la misma altura de banco dependiendo de las condiciones geológicas y estructurales del yacimiento.

Ángulo del banco: se refiere al ángulo más pequeño, medido en grados, entre la horizontal y una línea imaginaria que une el pie del banco con la cresta del mismo. Normalmente se emplea el mismo ángulo de banco para todos los ángulos de la cantera o mina, excepto en casos particulares que requieran consideraciones especiales dependiendo de la conformación estructural y geológica del yacimiento.

Límites de la fosa (o *pit*): se define como la extensión vertical y lateral en la cual el yacimiento es económicamente explotable bajo las condiciones económicas, tecnológicas y ambientales existentes. Uno de los parámetros principales que limitan los límites de la fosa es la relación estéril-mena, principalmente por el precio de la mena y el costo de extracción del estéril. Por ejemplo, en minas de diamante se trabaja con relaciones estéril-mena mucho más altas que en canteras de piedra metacaliza.

Relación estéril-mena (o relación de remoción): se calcula como la cantidad de estéril a remover por unidad de mena. Usualmente, se representa como relaciones estéril: mena; por ejemplo, una relación 3:1 quiere decir que se debe remover 3 unidades de estéril (las unidades pueden ser ton o m³) para extraer 1 unidad de mena. Entre más baja sea la relación más conveniente económicamente será la explotación.

Bermas: son estructuras horizontales que se dejan de manera permanente en las paredes finales de las fosas para mejorar la estabilidad y seguridad del talud final. A diferencia del banco, que es una terraza operativa y que varía con la vida de la mina, la berma se establece en el talud final y, consecuentemente, es permanente.

Intervalo de berma: se define como la distancia vertical entre dos bermas consecutivas. También puede ser definida como la altura vertical entre el pie de la berma y la cresta de la misma. El intervalo de berma no es necesariamente igual a la altura de los bancos, el mismo está definido por las características geotécnicas del talud final.

Ángulo de berma: es el ángulo, medido en grados, que se forma entre la horizontal y la pared de la berma.

Ancho de berma: se refiere al ancho de la berma. Considerando elementos de geotecnia y recuperación ambiental de mina, el ancho de berma normalmente mide lo suficiente para poder realizar ciertas actividades de recuperación ambiental para el

cierre de mina; por ejemplo, reforestación del talud, mejoramiento del drenaje del talud fina, entre otros.

Ángulo general de la fosa: es el ángulo, medido en grados, que se forma al unir el pie del banco más profundo con la cresta del banco más alto. Es importante destacar que este ángulo general se mide en la zona activa o de producción de la fosa.

Vía de acarreo: es la vía o camino que se emplea para cumplir diversas actividades operativas de la mina, principalmente el acarreo de material desde los frentes de explotación a los centros de procesamiento (trituración primaria, secundaria, terciaria, móvil u otro). Es importante destacar que en sistemas donde se empleen cintas transportadoras para acarrear el material desde trituradoras móviles in situ o cercanas a los frentes de explotación (muy usuales en sistemas modernos de canteras), aún es necesario tener vías de transporte adecuadas para la movilización de equipos en la mina o cantera.

b. Modelaje de Yacimientos

El modelaje de yacimientos es considerado como uno de los elementos principales en la primera etapa de un desarrollo minero. Debido a las características particulares de los recursos mineros, es de suma importancia tener una descripción clara y lo más precisa posible de las características físicas y químicas del yacimiento minero para desarrollar los diseños mineros respectivos. A tal respecto, el modelaje de yacimiento se define como la creación de un modelo del yacimiento basándose en información geológica, geofísica y geoquímica del mismo. Según SME (1992), la caracterización de recursos se define como “la determinación de la forma, tamaño, calidad, cantidad y variabilidad de la entidad geológica e, igualmente importante, determinar los límites de las características geológicas variables”.

Es de gran importancia que esta caracterización o modelaje del yacimiento sea lo más adecuada posible tanto por sus implicaciones operativas como exploratorias. Esta

descripción se emplea como soporte para las operaciones mineras, diseño y planificación de mina, y decisiones sobre estudios exploratorios futuros.

b.1 Generalidades

Normalmente, el modelo geológico se refiere a la caracterización del yacimiento y a las características geológicas del recurso. El modelo consiste fundamentalmente en la agrupación de los datos geológicos, observaciones de campo, y estudios disponibles para el momento y su representación en una forma visual que permita apreciar todos estos elementos de una forma clara y precisa.

Entre las limitaciones más importantes que tienen los modelos geológicos es que se dispone de información precisa muy limitada del yacimiento (perforaciones, muestras de campo, entre otras.) que deben usarse para extrapolar en zonas desconocidas. El modelo ideal incluiría información exacta y precisa de toda la zona del yacimiento; sin embargo, esto es económica y, en algunos casos, técnicamente imposible y muy poco rentable. Es por eso que en el modelaje del cuerpo minero se debe utilizar un cierto número de datos analizados para interpolar y caracterizar todo el mineral de la forma más adecuada posible con la información disponible.

Los objetivos principales para la realización de los modelos de yacimiento son:

- La descripción geológica del yacimiento en forma y estructura.
- Cálculo de reservas y cantidad de estéril presentes.
- Caracterización de calidad (tenor y otras características químicas).
- Descripción estructural y geotécnica del cuerpo y zonas cercanas.

b.2 Metodología

Como ya se ha podido apreciar, el desarrollo de un buen modelo del yacimiento es muy importante para la evaluación de reservas y forma parte integral del estudio de factibilidad y desarrollo de una mina. El proceso de generación del modelo de yacimiento (SME, 1992) usualmente comienza con el estudio de datos superficiales

como afloramientos, contactos superficiales, tipos litológicos, y otros. Como lo ha indicado Herness (1977) “no deben hacerse depuraciones de datos para eliminar datos ‘no importantes’”. En muchos casos, datos que se consideraron poco relevantes inicialmente, resultaron tener gran importancia luego de muchos años.

Para generar un modelo del yacimiento es necesario disponer de ciertos datos, como los siguientes:

- Datos de contacto superficial y tipología de elementos litológicos.
- Datos estructurales tomados en superficie (fracturas, diaclasas, fallas)
- Perforaciones exploratorias en la zona y sus respectivos análisis de testigos.
- Datos sobre nivel freático de la zona.
- Topografía actualizada de la zona.
- Caracterización química de las perforaciones y muestras de campo.

Uno de los elementos más importantes en este listado son los núcleos obtenidos de las perforaciones exploratorias. Las perforaciones exploratorias son altamente costosas como método de obtención de datos directos, pero proporcionan importantes datos directos sobre el subsuelo y el propio yacimiento. Por esto todos los núcleos deben ser manejados por geólogos expertos y con alta experiencia para realizar los estudios geológicos, físicos y químicos necesarios.

b.3 Propósito

El modelo geológico tiene como objetivo fundamental proporcionar una imagen geológica tridimensional de numerosas características del yacimiento. Los planos y secciones usados para desarrollar el modelo forman “toda la base para la estimación de recursos en los esquemas de cálculo de reserva convencionales” (SME, 1992). Actualmente, con la asistencia de sistemas computarizados, los datos provenientes del modelo geológico permiten realizar estudios de modelos de bloques, desarrollo de cálculos finitos de varias características del yacimiento, distribución de tenores, entre otros datos relevantes.

c. Cálculo de Reservas

c.1 Generalidades

La estimación de las reservas es una actividad fundamental para cualquier proyecto minero. Esto debido a que los proyectos mineros requieren un gran flujo de capital de inversión, generalmente proveniente de diversas fuentes de financiamiento. Sin embargo, se debe tener un alto grado de exactitud y conocimiento de la cantidad de mineral a ser extraído y determinar el grado de beneficio a ser alcanzado con el proyecto. El cálculo de reservas es la evaluación cuantitativa y cualitativa del mineral que puede ser extraído con beneficio y legalmente del depósito mineral durante la minería. Según el SME (1977), la estimación o cálculo involucra “no sólo la evaluación del tonelaje y tenor de un depósito sino también la consideración de los aspectos técnicos y legales para la minería del depósito, beneficio mineral y venta del producto”.

Es importante recordar que el cálculo de reservas minables depende de los aspectos legales y técnicos actuales y futuros. Es por esto que los proyectos mineros tienen altos niveles de riesgo. Por ejemplo, un proyecto minero se puede iniciar actualmente bajo un determinado marco legal nacional; sin embargo este marco legal puede variar en un futuro a medio o largo plazo, afectando negativamente la cantidad de reservas extraíbles o las condiciones operativas del proyecto.

Lo mismo sucede con el aspecto tecnológico. Actualmente se están desarrollando proyectos en minas que hasta hace unos años se consideraban poco rentables por las dificultades técnicas que representaban. En el presente, muchos avances tecnológicos en equipos, sistemas y procesos han logrado mejorar altamente la productividad y rentabilidad de los proyectos mineros.

c.2 Metodología de la Estimación de Recursos

Una estimación de los recursos se basa en las características físicas inferidas del depósito mineral a partir de la colección de datos, análisis de datos y modelo

geológico. Algunos de los elementos relevantes para la evaluación del yacimiento (SME, 1977) son:

- El tamaño, forma y continuidad de las zonas del yacimiento.
- Distribución de frecuencia del tenor del mineral (zonas del mismo tenor, distribución vertical de tenores).
- La variación espacial del tenor mineral (desarrollo de modelos de bloques con tenores específicos).
- Elementos estructurales y geológicos como fallas, morfología del yacimiento, contactos, entre otros.

Para poder establecer una estimación de reservas adecuada es importante tener una idea básica del proceso minero a ser empleado. Esto es relevante ya que cada actividad minera permite recuperar volúmenes de mineral particulares. Los elementos mineros más importantes para la evaluación de reservas son:

- El rango de tenores de corte (tenor de mineral económicamente recuperable).
- El grado de selectividad y tamaño de las unidades mineras para las actividades mineras.
- Variaciones en el depósito que afecten la capacidad de extraer el mineral.

c.3 Métodos Clásicos

Las estimaciones de recursos manuales normalmente se usan en planos o secciones transversales con información que incluye perforaciones o sondeos, valores de muestreos e interpretación geológica del yacimiento. Estos métodos clásicos tienen la ventaja de ser sencillos en su construcción y cálculo.

Sin embargo, presentan varias desventajas particularmente en la precisión y realismo de las evaluaciones. Las desventajas en la precisión se deben mayoritariamente a que generalizan el comportamiento de una zona, que puede llegar a ser amplia, basándose sólo en los resultados de uno o pocos sondeos o perforaciones cercanas. Esta

limitación es muy importante cuando se realizan estimaciones de yacimientos muy irregulares o diseminados que pueden presentar grandes variaciones en cortas distancias.

A pesar de esto son métodos prácticos y aplicables para hacer estimaciones económicas de reservas en yacimientos con geometrías regulares y para verificar evaluaciones de modelos generados por computadora.

c.3.1. Método de Secciones

Este método de evaluación divide el yacimiento en secciones o “cortes” verticales y paralelos entre sí para obtener cortes transversales del yacimiento, como se aprecia en la Figura 3.3. A partir de estos cortes se puede obtener el volumen y tonelaje de estéril y mena siguiendo las siguientes fórmulas (SME, 1977, López y Aduvire, 1994):

Para el cálculo de volumen (V) se emplea la Formula 1:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times L_1 \quad (\text{Fórmula 1})$$

Para el cálculo del tonelaje (T) se aplica la Formula 2:

$$T = \frac{A_1 + A_2}{2} \times L_1 \times \tau \quad (\text{Fórmula 2})$$

Donde τ es la densidad media del mineral (t/m^3). Es importante destacar en este aspecto que para las toneladas de estéril se deben emplear las áreas correspondientes al estéril de las secciones y la densidad del estéril. Lo mismo se aplica para el cálculo del volumen y tonelaje de mena.

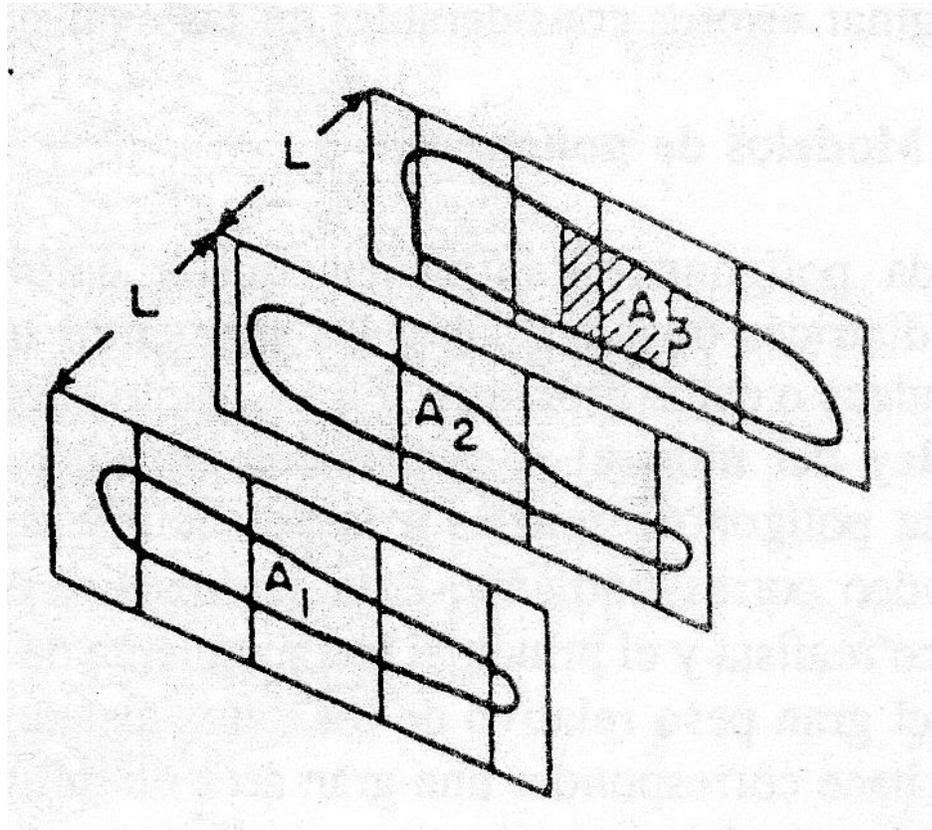


Figura 3.3: Esquema de secciones en un yacimiento y elementos del cálculo de reservas empleando el método de secciones (Fuente: López y Aduvire, 1994)

Uno de los puntos más relevantes sobre la aplicación de este método es que se recomienda que las secciones construidas contengan la mayor cantidad de perforaciones alineadas posibles. Esto es importante para poder tener la mayor precisión en la representación del yacimiento en las secciones.

Otro punto de gran relevancia sobre este método es que entre mayor sea el número de perforaciones existentes en el yacimiento, se podrán obtener secciones con menor distanciamiento y, consecuentemente, mayor precisión en la representación del yacimiento en las secciones y cálculo de reservas empleando las mismas. Por supuesto, el costo de los sondeos es regularmente alto y siempre se intenta establecer un patrón exploratorio económicamente rentable y que proporcione la suficiente

información para dar inicio a la explotación con un cierto grado de certeza en la estimación de reservas.

c.3.2. Método por Triangulación

El método de triangulación consiste en construir prismas rectangulares usando tres perforaciones contiguas como vértices del respectivo prisma. Como se puede apreciar en la Figura 3.4, el procedimiento se resume en la unión de los sondeos existentes por líneas rectas, luego se establece un prisma rectangular usando tres perforaciones cercanas como vértices. El tenor o ley de cada prisma se obtiene como la media aritmética del tenor correspondiente a cada perforación o vértice del prisma. También se puede estimar como la media ponderada entre los tres vértices.

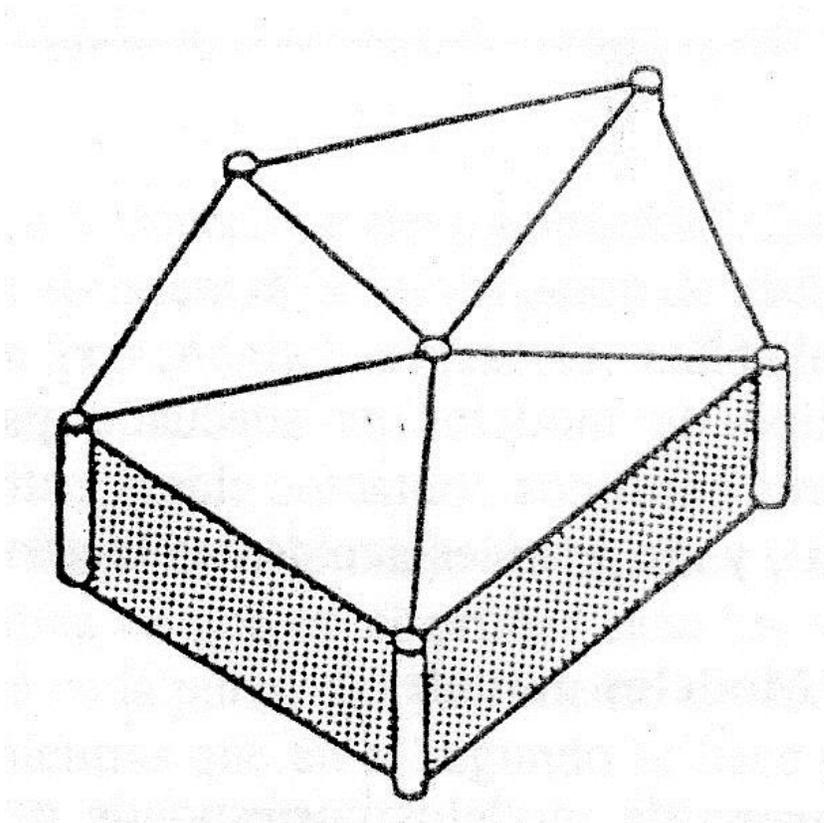


Figura 3.4: Método por triangulación (Fuente: SME, 1992)

Sin embargo, este método puede originar errores importantes en las estimaciones de reservas.

c.3.3. Métodos de Polígonos

El método de los polígonos tiene principios similares al método de triangulación, pero en este caso el polígono se construye teniendo a una perforación específica como centro del área. Como se aprecia en la Figura 3.5, una perforación o sondeo ejerce un área de influencia sobre la cual se establece el área que se usará como base.

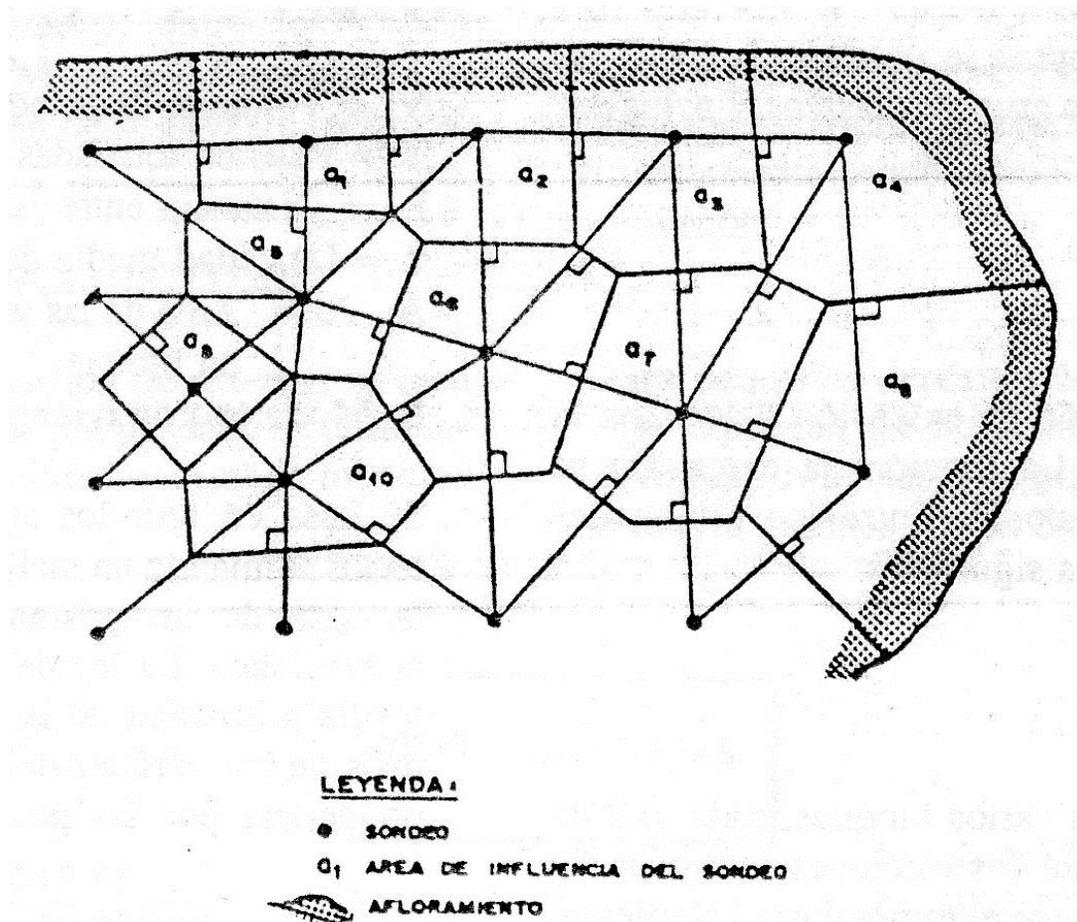


Figura 3.5: Método de polígonos (Fuente: López y Aduvire, 1994)

Como se puede apreciar en la Figura 3.5, cada elemento se construye con las mediatrices dibujadas de los segmentos rectos que unen a cada sondeo cercano con el sondeo eje de dicho polígono. Estas mediatrices definen el área poligonal, mientras que el tenor o ley del sondeo eje establece la ley general de dicha área.

Por supuesto, al igual que ocurre con los demás métodos geométricos, esta hipótesis sobre la ley o tenor de un polígono normalmente es poco realista. En muchos casos, se encuentra que el tenor dentro tiene grandes variaciones con el tenor correspondiente al sondeo eje de dicho polígono.

Uno de los elementos negativos de este método es que sólo considera la influencia y comportamiento del sondeo o perforación eje del polígono. Una aplicación más realista debería tomar en consideración el comportamiento de los sondeos cercanos para poder tener una estimación o evaluación más precisa de las reservas del yacimiento.

c.4. Métodos Contemporáneos

Con el avance de los sistemas informáticos y los programas de computadora, se han logrado importantes mejoras en el desarrollo de programas mineros, en todas sus fases. Uno de los adelantos mineros más importantes ha sido el desarrollo de paquetes de software o programas mineros para el modelamiento geológico y evaluación de reservas. En el aspecto particular de la evaluación de reservas, los programas informáticos han permitido el cálculo de reservas empleando grandes volúmenes de información minera de los yacimientos.

Modelos geométricos:

c.4.1. Métodos de Bloques

Este método consiste fundamentalmente en modelar el yacimiento como una serie de bloques o cubos con dimensiones definidas, generalmente de iguales dimensiones para todos los bloques, e información específica en los mismos, como tenor, calidad,

estéril, etc. De acuerdo a López y Aduvire (1994), el dimensionamiento de los bloques depende de varios aspectos, entre ellos los principales son:

- a) Variabilidad de las leyes o tenores,
- b) La continuidad geológica en el yacimiento,
- c) Tamaño de las muestras o sondeos y la distancia entre ellas,
- d) Capacidad de los equipos mineros a ser empleados,
- e) Taludes del diseño minero,
- f) Capacidades propias del equipo de computación usado.

La construcción de los bloques y la adjudicación de características de cada uno se realizan mediante variogramas por computadora tomando como base los sondeos o perforaciones y demás datos geológicos de relevancia. Los programas actuales permiten establecer las bases de datos, elementos integrantes en la base de datos, elementos a considerar en los variogramas y construcción de bloques (según lo confirma la empresa Maptek, desarrolladora del paquete Vulcan y Gemcom desarrolladora de paquetes como Surpac y Minex, en sus respectivas páginas web). En la Figura 3.6 se aprecia un modelo general con bloques de tamaño regular a través de todo el yacimiento.

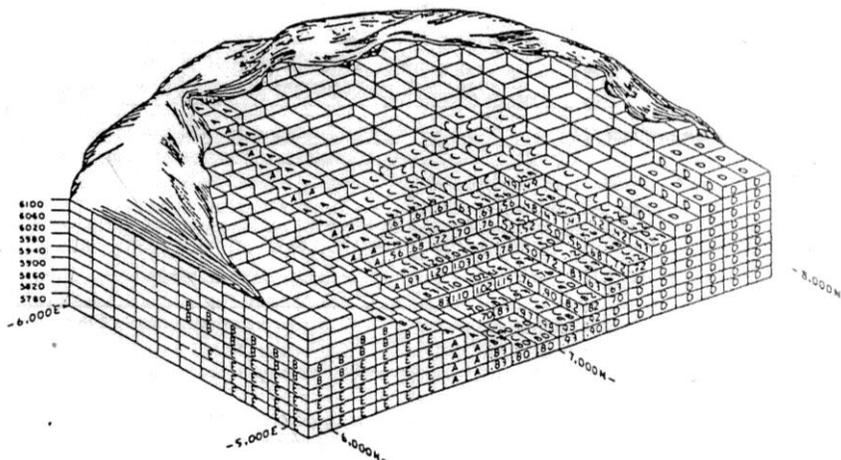


Figura 3.6: Modelo de bloques general de un yacimiento empleando bloques con las mismas dimensiones (Fuente: López y Aduvire)

Uno de los avances más importantes en la actualidad es el hecho de que se pueden desarrollar bloques de diferentes tamaños dependiendo principalmente de la variabilidad de datos para los mismos. Como se puede ver en la Figura 3.7, si existen zonas en las cuales los datos obtenidos de la base de datos son muy similares (incluso empleando rangos y especificaciones establecidas por el ingeniero) se puede establecer un bloque de mayores dimensiones pero con mayor homogeneidad de características. Esto permite tener en un modelo diversos tamaños dependiendo de la homogeneidad de las características, y de esta forma, acelerar los procesos y velocidad de cálculo del computador.

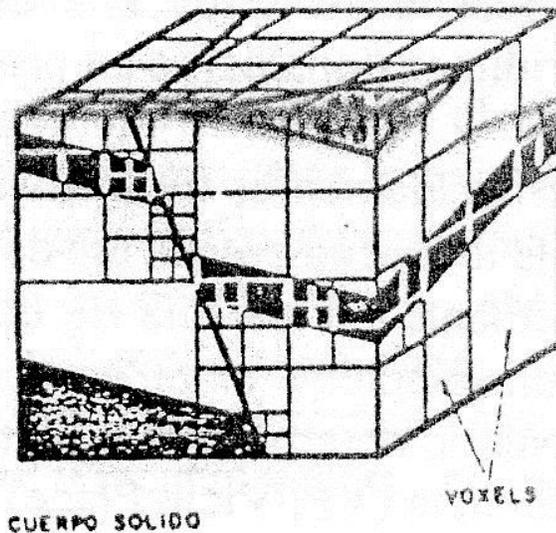


Figura 3.7: Modelo de bloques con bloques de diferentes dimensiones dependiendo de la homogeneidad de leyes (Fuente: López y Aduvire, 1994)

c.4.2. Métodos de Capas

Los modelos de capas fundamentalmente son modelos de bloques aplicados a yacimientos estratigráficos empleando elementos con altura variable. Este tipo de modelos toma en consideración que los estratos no se corten entre sí y que las niveles

o zonas mineralizadas pasen por los sondeos exploratorios (SME, 1992). En la Figura 3.8 se puede observar la distribución de las capas y los bloques con altura variable dependiendo del grosor de la capa.

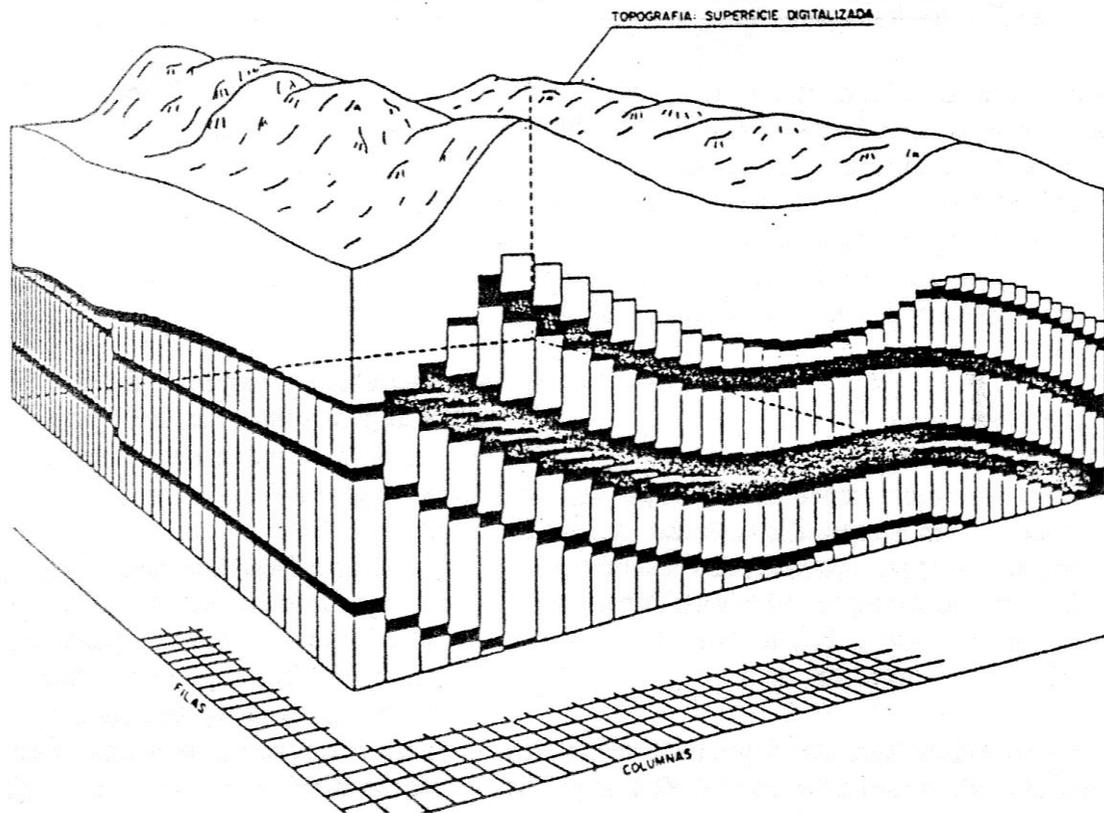


Figura 3.8: Modelo de capas (Fuente: López y Aduvire, 1994)

De acuerdo con López y Aduvire (1994), la diferencia principal con el modelo de bloques es que en lugar de asignar características a cada punto del yacimiento en coordenadas (X, Y, Z), en el modelo de capas esta asignación se realiza en coordenadas (X, Y) de la capa $C_1, C_2 \dots C_i$. La altura de cada sección se estima por la altura de la capa correspondiente en ese punto.

Este tipo de modelos presentan importantes ventajas para la interpolación geológica cuando se contiene un alto número de capas, fallas y pliegues.

c.4.3. Método Sólido Tridimensional

Este método se establece como rebanadas de un yacimiento (masa mineral) integrando los elementos del diseño minero (galerías, cámaras, y otros). Estas rebanadas o sólidos permiten su manipulación gráfica mediante programas computarizados.

En este tipo de modelos se emplean diversas perspectivas gráficas y los elementos son ubicados mediante sistemas de coordenadas en 3 dimensiones. En la Figura 3.9 se aprecian varios elementos de los modelos sólidos.

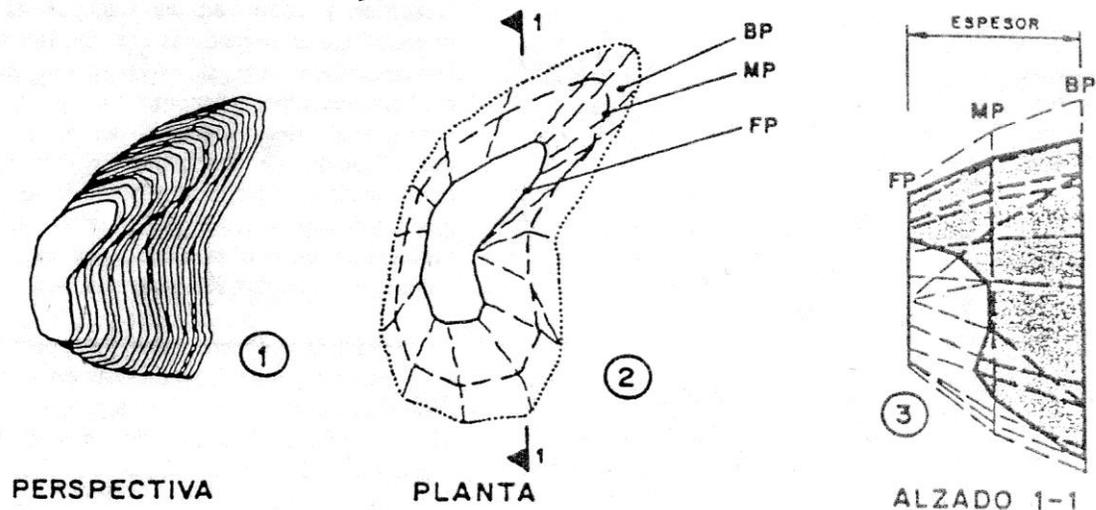


Figura 3.9: Elementos de un modelo sólido (Fuente: López y Aduvire, 1994))

Para la construcción de cada rebanada se toma un plano medio o MP, posteriormente se interpola este MP con los MP de secciones contiguas y se establece el plano frontal o FP y el plano trasero o BP. Los planos frontal y trasero representan los límites de la capa o sólido respectivo. De esta forma se construye el sólido de tipo prismatoide representativo de la capa sólida.

Uno de los puntos más ventajosos de este modelo es su gran facilidad para el manejo visual de sectores del yacimiento. Esto permite establecer modificaciones de diseño y, acompañado de un modelo de bloques, servir para la estimación de reservas.

d. Diseño de Mina a Cielo Abierto

Una mina de fosa abierta es una “excavación o corte hecho en la superficie del terreno para el propósito de extraer mena y está abierto a la superficie durante la vida de la mina” (SME, 1992). En la gran mayoría de los casos, el yacimiento se encuentra integrado por la mena y material estéril. El objetivo principal de cualquier operación minera es la explotación del depósito mineral al menor costo posible con vistas de maximizar las ganancias.

Entre las funciones fundamentales del profesional de ingeniería de minas están la selección de parámetros físicos y la programación de extracción de la mena y estéril. Estas decisiones ingenieriles son altamente complejas y son únicas para cada mina. Además, estas decisiones son recurrentes y continuas durante la vida de la mina y siempre se deben optimizar los diseños para poder cumplir con el objetivo principal, maximizar las ganancias de la operación minera.

d.1. Diseño del Límite de Fosa

Uno de los elementos de mayor relevancia en una operación a fosa abierta es la delimitación y diseño del límite de la fosa o *pit*. El límite representa la pared o talud final de la explotación, se considera como la forma final que tendrá la excavación al concluir la vida de la mina. En la Figura 3.10 se aprecia una mina en donde se puede ver la distribución de bancos y el talud final de la mina.

El enfoque principal que se tiene al diseñar el límite de la fosa es el aprovechamiento de la mayor cantidad de mineral posible extrayendo la menor cantidad de estéril. Por supuesto, se deben considerar otros aspectos en su diseño. Por ejemplo, entre mayor sea la inclinación, de acuerdo con SME (1979), la “probabilidad de falla” en las paredes o talud aumentan.

Por tal motivo, un plan minero óptimo debe integrar el talud final con mayor inclinación posible sin que el mismo falle durante la operación minera y el posterior cierre de mina. Este punto es de suma importancia ya que un deslizamiento en alguna

zona de la mina representa importantes gastos adicionales, riesgo al personal y equipos, y posibles sanciones administrativas, penales y ambientales para la mina.

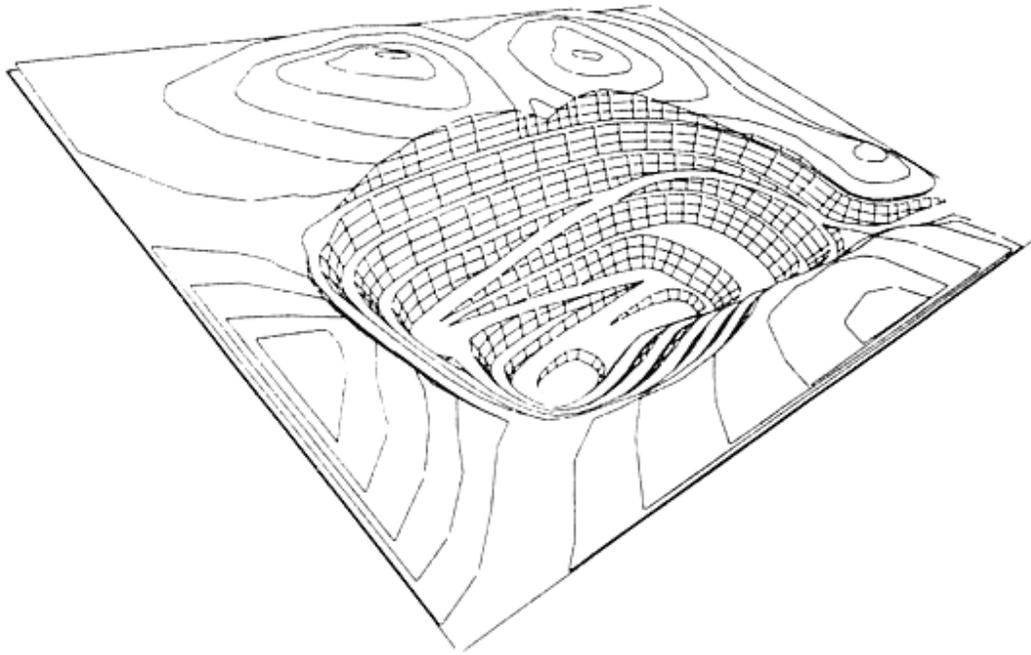


Figura 3.10: Mina a fosa abierta (Fuente: Herrera, 2007)

Para poder alcanzar un diseño óptimo se debe disponer de la mayor cantidad de información posible. Entre los datos más importantes necesarios para el diseño encontramos (SME, 1979):

- Discontinuidades geológicas,
- Fortaleza del macizo rocoso,
- Presencia de agua en la zona.

Como se puede apreciar, uno de los elementos más importantes es la característica o comportamiento geotécnico del macizo rocoso del yacimiento. Es altamente recomendable que se realicen estudios de mecánica de rocas para aplicar sus

resultados en el óptimo diseño de taludes operativos (en zonas donde se realicen operaciones mineras) y finales de la mina.

d.1.2 Datos de Estabilidad

Discontinuidad Geológica

La recolección de datos sobre las posibles discontinuidades geológicas, como fallas, intersecciones y planos de estratificación se realiza “para el propósito de determinar los posibles tipos, tamaño y ubicación de posibles fallas en el talud”, según Herrera (2007). Esta información es muy importante por motivos de seguridad para minas a cielo abierto, en particular minas profundas.

En casos donde existan afloramientos disponibles, los mismos se pueden evaluar en el mapeo de superficie para obtener información sobre la existencia y orientación de fallas, diques, planos de foliación, estratificación y diaclasas.

Esfuerzos Geotécnicos del Macizo Rocoso

Las características mecánicas o geotécnicas del macizo rocoso y suelo que conforma las paredes del talud determinan como estos materiales reaccionan ante los diversos esfuerzos presentes. Estas características son muy importantes cuando las minas van alcanzando mayores profundidades, ya que, según Herrera (2007), las concentraciones de esfuerzos se vuelven mayores.

Entre los elementos geológicos y geotécnicos importantes en el estudio de estas características del macizo rocoso, se encuentran las zonas de debilidad (zonas con diferentes resistencias a los esfuerzos) y el comportamiento del suelo. Estos elementos en su conjunto pueden fomentar la aparición de planos de falla en el macizo.

Agua Subterránea

La presencia de agua subterránea en una mina tiene varios efectos negativos, tanto a nivel de diseño como a nivel operativo y de seguridad. Como ya se pudo observar, las discontinuidades geológicas representan el factor más importante en la estabilidad de taludes. En forma general, el agua subterránea tiene el efecto negativo de “empujar” las paredes o talud de la mina hacia las zonas o frentes libres, principalmente sobre planos de falla.

Además de esto, el agua se filtra por los potenciales planos de falla disminuyendo la fuerza de cizalla. Por tal motivo es importante establecer sistemas para drenar el agua fuera del macizo y así evitar estos efectos negativos.

d.1.2. Ángulos de Talud

Los ángulos de talud se consideran los factores principales que afectan la forma de la fosa o *pit* final y la ubicación de las paredes o taludes. Como se ha mencionado anteriormente, los ángulos óptimos de talud varían de fosa a fosa debido a las diferencias geológicas existentes. Inclusive, no es algo atípico el encontrar ángulos diferentes en zonas de una misma fosa o secciones superiores e inferiores de una misma sección transversal (SME, 1979).

El objetivo principal al momento de diseñar los ángulos de talud es que los mismos sean lo más pronunciados posibles sin provocar efectos económicos negativos debido a inestabilidad del talud y sin poner en riesgo la seguridad del personal. Esto se debe a que entre mayor sea el ángulo del talud final generalmente se “minimizara la cantidad de estéril a ser removido para explotar la misma cantidad de mineral” (SME, 1979).

Según el SME (1979), las “penalizaciones” o aspectos negativos que surgen por la inestabilidad del talud pueden ser:

- Pérdida de mena,

- Costos de remoción adicionales ocasionados por movimiento de estéril adicional para recuperar mena que, de otra forma, se perdería,
- Los costos asociados con el saneamiento de deslizamientos,
- Los costos asociados por el re-direccionamiento de las vías de acarreo que puedan verse afectadas,
- Retrasos en la producción,
- La ineficiencia de producción y afectación de las programaciones existentes debido a la falta de accesibilidad a las zonas afectadas.

d.1.3 Análisis de Estabilidad de Taludes

Actualmente existen varios métodos para el análisis de la estabilidad en taludes. Es importante tener presente que los análisis tienen como premisa la existencia de algún tipo de plano o superficie de falla. Esta superficie o plano de falla generalmente se forma por cambios en litología, fallas en el macizo rocoso o discontinuidades en el mismo. El SME (1979) destaca los siguientes como los más comunes:

Métodos de Equilibrio Límite

Los métodos de equilibrio límite tienen como principio el uso de la estática para “analizar la estabilidad de masas de roca y/o suelo sobre la superficie de falla” (SME, 1979).

Existen dos panoramas en el análisis de estabilidad:

1. El fallo ya ha ocurrido. En esta circunstancia, la geometría de la superficie de falla se puede establecer y el análisis del fallo o deslizamiento se realiza por análisis forense.
2. Cuando se habla de una situación de diseño, el plano de falla es potencial en lugar de real. En este caso, pueden existir varios tipos de superficie de falla que deben ser analizadas para determinar la “geometría más crítica” antes de que un diseño de talud sea considerado como aceptable.

El método de equilibrio límite se basa en la relación entre las fuerzas que tienden a restaurar el equilibrio del macizo y las fuerzas que tienden a alterar el mismo. De este principio se deriva la Formula 3 de factor de seguridad (F). El factor de seguridad se define como:

$$\frac{\text{Fuerzas que tienden a restaurar el equilibrio}}{\text{Fuerzas que tienden a alterar el equilibrio}} = F$$

Existe gran variedad de modos de falla en las minas a cielo abierto. Las más importantes pueden ser apreciadas en la Figura 3.11. Estos tipos de falla se definen principalmente en la zona de interacción entre dos masas de roca y/o suelo.

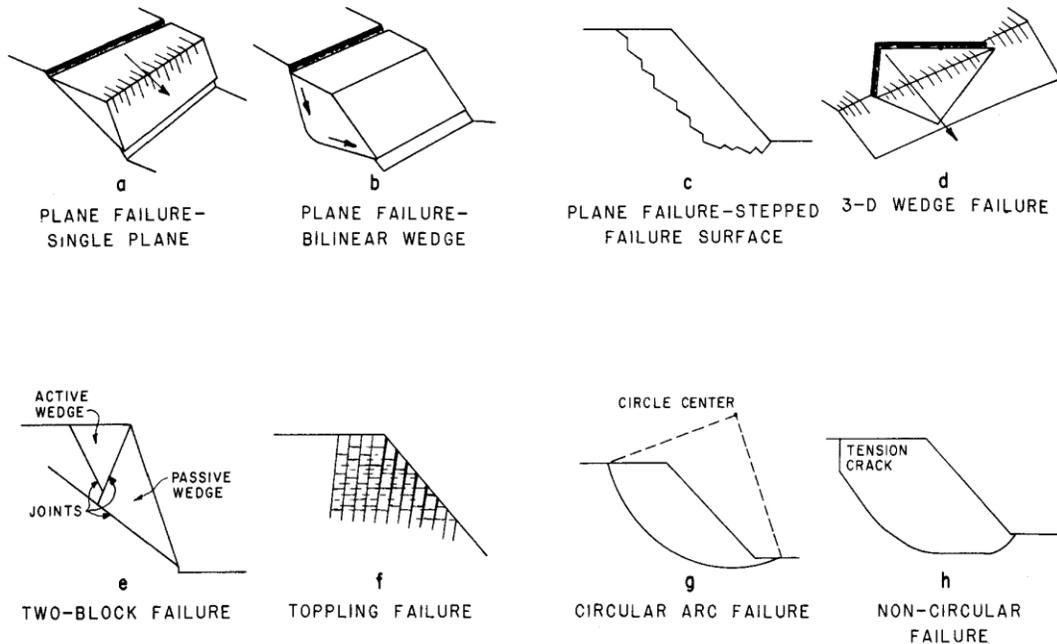


Figura 3.11: Tipos de falla comúnmente observados en minas a cielo abierto (Fuente: SME, 1979)

Métodos de Análisis de Esfuerzos

En ciertos casos, los deslizamientos no ocurren necesariamente en superficies de falla bien definidas. Existen zonas de alto esfuerzo donde ocurre trituración de material

rocoso. Estos altos esfuerzos son transferidos a otras partes del macizo rocoso que a su vez fallan. Según SME (1979), el movimiento progresivo del macizo rocoso puede desarrollar deformaciones importantes del talud y/o un fallo completo del macizo rocoso.

El objetivo fundamental de este método es analizar el cuerpo rocoso como una serie de elementos estructurales o celdas de material constante y establecer los esfuerzos en puntos dentro del talud. Posteriormente, se puede evaluar la distribución de esfuerzos para determinar donde es posible que ocurra fallo en el macizo.

Debido al gran número de elementos y la independencia de los esfuerzos entre los mismos, se emplean soluciones informáticas para el análisis. Los análisis por computadora se pueden emplear para examinar las situaciones en diferentes momentos y bajo parámetros establecidos.

Técnicas Estereográficas

Las técnicas estereográficas se fundamentan en el análisis de las orientaciones de los distintos elementos (discontinuidades, diaclasas, planos, etc.) que integran el macizo rocoso. Empleando estas técnicas (según SME, 1992), las orientaciones de la cara del talud y los conjuntos de diaclasas dentro del cuerpo rocoso se pueden representar en un diagrama plano y los posibles mecanismos de falla pueden ser determinados.

En términos sencillos, la proyección esférica es un método de representación de datos de orientación 3D en un plano. El mismo integra una esfera de referencia para representar las orientaciones de líneas y planos en el espacio. Actualmente, existen paquetes informáticos que manejan las proyecciones estereográficas, tales como StereoPro (MWSsoftware) y DIPS (Rocsience).

e. Planificación de Minería

La planificación minera se concentra en la organización del diseño y actividades necesarias para poder llevar a cabo la explotación del yacimiento. Para el desarrollo

de una óptima planificación es importante tomar en consideración los siguientes elementos: taludes operativos, geometría de taludes, altura de bancos, frentes de mena y estéril, selección de equipo y aplicación de métodos por computadora, entre otros.

e.1 Taludes Operativos

Los taludes operativos se refieren a los taludes ubicados en los frentes operativos de la mina, donde se realizan las actividades de explotación minera. Los taludes operativos se miden como el ángulo entre la horizontal y la pared del talud. En la Figura 3.12 se pueden apreciar los taludes finales y operativos de una mina. Dependiendo de las condiciones geológicas y geotécnicas del yacimiento los taludes operativos, al igual que los taludes finales, pueden variar de un sector o frente a otro de la mina.

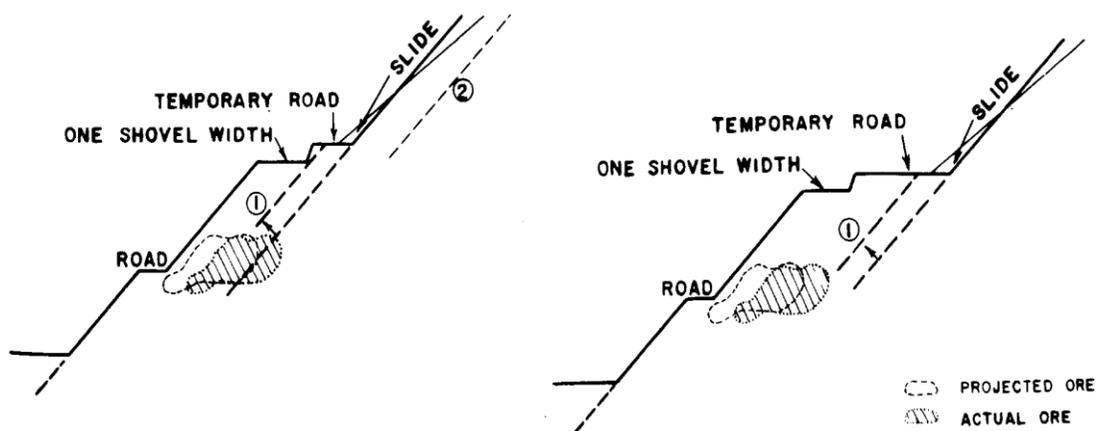


Figura 3.12: Frentes operativos de una mina (Fuente: SME, 1979)

Las zonas operativas de la mina dependen de las necesidades de producción y dimensiones de los equipos seleccionados. También es importante destacar la existencia de vías de acarreo temporales en los frentes operativos.

e.2 Geometría de Taludes

La geometría del talud es una fase del diseño de fosa y planificación puede ser muy variable. La geometría depende de la altura del banco, controles estructurales, tipo de roca, procedimientos de voladura y condiciones de agua subterránea.

La geometría integra diversos elementos que tienen grandes repercusiones en la productividad de la mina. Es por esto que la geometría debe ser analizada en detalle para poder garantizar un desempeño óptimo de las actividades mineras.

e.3 Altura de Bancos

La altura del banco es uno de los aspectos más determinantes en el diseño de la mina. Fundamentalmente depende de las necesidades de producción y características estructurales y geotécnicas de la mina. En la Figura 3.13, se aprecian diversas configuraciones para un talud con diferentes parámetros de altura de banco.

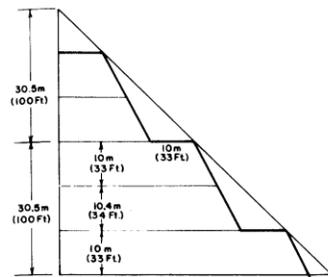


Fig. 2a. Berkeley
0.785 rad (45°) slope
1.100 rad (63°) face angle

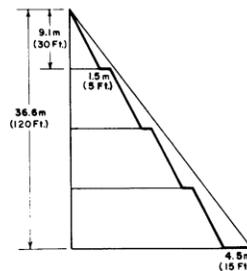


Fig. 2c. Continental East
0.925 rad (53°) slope
1.100 rad (63°) face angle

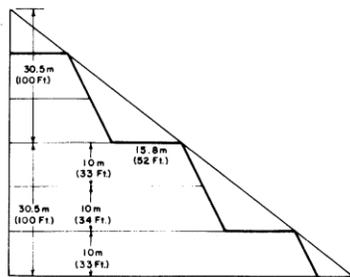


Fig. 2b. Berkeley
0.663 rad (38°) slope
1.100 rad (63°) face angle

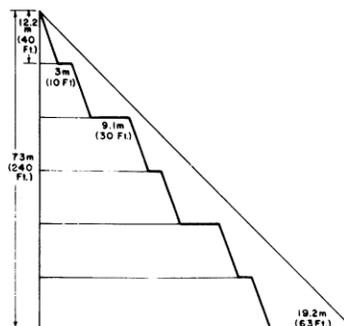


Fig. 2d. Berkeley
0.785 rad (45°) slope
1.222 rad (70°) face angle

Figura 3.13: Configuraciones de bancos con diversas alturas de banco y ángulos de talud (Fuente: SME, 1979)

Por motivos de seguridad y eficiencia de operaciones (SME, 1979), las actividades de canteras emplean alturas de bancos que varían de 8 a 15m. Estas dimensiones facilitan las operaciones de perforación y voladura, y las operaciones de carga. Además de esto favorecen la estabilidad de los taludes operativos y finales de la fosa.

e.4 Frentes de Mena y Estéril

En el proceso de minería a cielo abierto normalmente se debe remover estéril como parte integral para la extracción de mineral. Por tal motivo uno de los parámetros más importantes para el desarrollo óptimo de una actividad minera es la relación de remoción.

De acuerdo a SME (1977), la relación de remoción (R) se define como la cantidad de estéril en toneladas que se debe extraer para obtener una tonelada de mineral. La SME (1992) define la relación de remoción de forma equitativa empleando la Formula 4:

$$R = \frac{\text{volumen de estéril removido a una profundidad } (d)}{\text{volumen de mineral recuperado a una profundidad } (d)}$$

Empleando la Figura 3.14, donde se muestra un modelo de bloque de un yacimiento sencillo, se puede aplicar la misma fórmula de la siguiente manera:

$$R = \frac{ABD}{BCED}$$

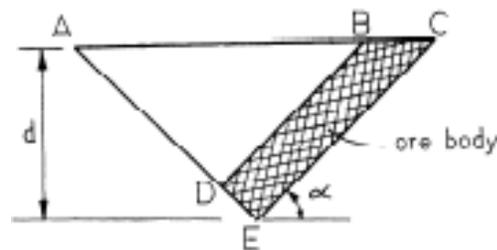


Figura 3.14: Modelo de bloque donde se muestra la distribución de estéril y mineral
(Fuente: SME, 1992)

Existen diversos métodos básicos que pueden emplearse para el diseño de la relación óptima dependiendo del tipo de yacimiento. En la Figura 3.15 se muestran dichos métodos. La selección del método dependerá de varios factores entre los cuales se destacan (SME, 1992), la relación de corte que se establece como la relación para la cual “los costos de minería de la mena y estéril son iguales por las ganancias de dicho bloque de mineral”. Por lo tanto, si los costes de producción del mineral y estéril para un bloque son mayores a los ingresos que se obtendrán por su minería, dicho bloque no es económicamente rentable.

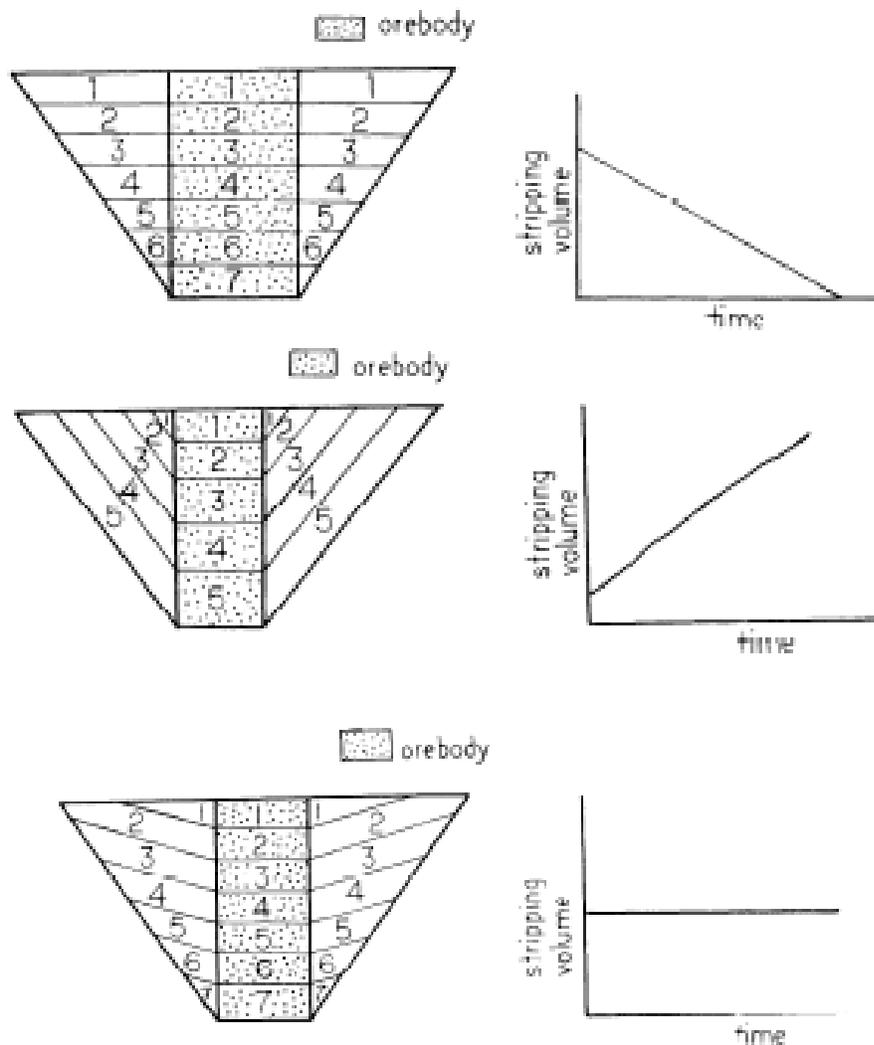


Figura 3.15: Métodos de relación de remoción (Fuente: SME, 1992)

e.5 Selección de Equipos

La selección de equipos para la explotación de una mina viene determinada principalmente por el nivel de requerimientos de producción, tipo de yacimiento y diseño de la mina. De acuerdo con SME (1979), varios de los factores más determinantes en la selección de los equipos son:

1. Producción requerida,
2. Distancia de acarreo,
3. Espacio operativo de acuerdo al diseño de la mina,
4. Disponibilidad y costos de energía, combustible, consumibles, etc.
5. Condiciones climáticas,
6. Tipo de material,
7. Vida de la mina comparada con la inversión de capital requerida para un sistema minero específico, y
8. Las características operativas de los equipos.

En términos generales, las operaciones de cantera emplean cargadores frontales o excavadoras hidráulicas para la carga en los frentes de explotación y camiones roqueros o articulados para el acarreo de material hasta los centros de procesamiento. Actualmente, la tendencia minera es la instalación de sistemas de trituración móviles cerca de los frentes de explotación y el uso de sistemas de bandas transportadoras para el acarreo del material hasta centros de trituración secundarios, terciarios, clasificación y despacho, como se aprecia en la Figura 3.16 (*E&MJ*, Junio 2011, *Pit and Quarry*, Junio 2013).



Figura 3.16: Sistema de trituradora móvil con alimentación mediante excavadora hidráulica (Fuente: Pit and Quarry, Junio 2013)

f. Diseño de Vías de Acarreo

El estudio y proyecto de vías abarca las siguientes fases:

- Selección y evaluación de rutas
- Estudio de los trazados alternos
- Evaluación de los trazados
- Elaboración del proyecto de vía

f.1 Selección y Evaluación de Rutas

La primera etapa en la elaboración de un proyecto vial consiste en el estudio de las rutas. Según Kaufman (1977), una ruta se entiende como la faja de terreno, de ancho variable, que se extiende entre los puntos terminales que se quieren comunicar y dentro de la cual podrá localizarse el trazado de la vía. La localización de una vía está influenciada por diversos factores, entre los cuales destacan:

- Topografía. Es uno de los factores principales y determinantes en el estudio de las rutas, puesto que afecta los alineamientos, pendientes, visibilidad y sección transversal de la vía.
- Características físicas y condiciones geológicas. La presencia de zonas inestables, la secuencia estratigráfica, las características litológicas, las características geotécnicas, son factores muy importantes en la selección de una ruta.
- Restricciones ambientales. Deben considerarse los factores relacionados con el control de la contaminación, limitación de los ruidos, uso de la tierra, infraestructura cercana, y otros.

f.2 Estudio del trazado de vías

El proceso de estudio del trazado de una vía implica la búsqueda, evaluación y selección de las posibles líneas que se pueden localizar en cada una de las fajas de terreno que sean consideradas como merecedoras de un estudio más detallado después de la evaluación de rutas (SME, 1979). Para ello es necesario llevar a efecto varias actividades:

- Reconocimiento topográfico. Es necesario un minucioso examen de campo que permita obtener información adicional de las rutas seleccionadas.
- Poligonal del estudio. Durante el examen de campo se establece una línea o poligonal que constituye una primera aproximación del eje de la futura vía.
- Estudio del trazado. El trazado debe cumplir las especificaciones técnicas que se hallan establecido: pendientes máximas y radios de curvatura mínimo, según el terreno sea plano o montañoso.
- Evaluación de los trazados. Deben hacerse las consideraciones técnicas, sociales, ambientales y económicas de las alternativas de trazados. Del punto de vista económico destacan dos parámetros claves: costo del trazado (inversión) y costo de operación de un vehículo. Del punto de vista del uso de

una vía, tres factores principales intervienen para comparar sus trazados: longitudes, pendientes y curvaturas.

El trazado se conceptúa como de terreno plano si las pendientes en el sentido de la vía son inferiores a la pendiente máxima estipulada para la vía y en donde el trazo de línea recta puede constituir la solución de enlace entre dos puntos. En terrenos planos, una vez determinado los puntos de control (puntos de paso obligatorio) el diseño se reduce a enlazarlos con el mejor alineamiento posible, generalmente a través de una línea recta, a menos que sean tramos muy largos que la desaconsejen por seguridad y estética paisajística. El trazado por terreno montañoso exige satisfacer las restricciones de pendiente, de modo que la línea que une dos puntos localizados en curvas de nivel contiguas tenga una distancia determinada por la relación entre el intervalo de nivel y la pendiente establecida.

Proyecto de vía

Del análisis anterior se determina el trazado que reúna las mejores ventajas para el desarrollo del anteproyecto de la vía, el cual consiste en establecer en los planos el eje vial que mejor cumpla con los requerimientos planimétricos y altimétricos predefinidos por su naturaleza. Los planos que se utilizan en esta etapa proceden de levantamientos topográficos terrestres convencionales o levantamientos aerocartográficos de la faja de terreno que haya sido seleccionada durante los reconocimientos preliminares. La topografía convencional se apoya normalmente en una poligonal de precisión, abierta o cerrada más comúnmente. El trazado óptimo será aquel que se adapta económicamente al terreno de acuerdo a los criterios de diseño geométrico adoptado.

Uno de los principales objetivos de la construcción de una vía de acarreo es lograr el equilibrio entre los alineamientos, rectos y curvos, y las pendientes, de modo que permitan la construcción de la vía con el menor movimiento de tierra posible y con el mejor balance entre los volúmenes de excavación y relleno que se produzcan.

El alineamiento horizontal debe ofrecer seguridad y permitir en lo posible la uniformidad en la operación de los vehículos. El alineamiento vertical o rasante depende fundamentalmente de la topografía atravesada. El método general de realizar el anteproyecto es mediante un proceso de aproximaciones sucesivas para definir en los planos una línea, llamada “línea L”, que se considerará como eje de la vía.

CAPITULO IV

Marco Metodológico

IV.1. Tipo de investigación:

La presente investigación se clasificó como investigación correlacional. La motivación principal para esta decisión es que la misma se basará, en una primera fase, en el estudio de las condiciones actuales de diseño de la Cantera. Esto se realizará tomando en consideración aspectos directamente relacionados con la estabilidad de taludes y bancos, seguridad y estado de las vías de acarreo y acceso a los distintos niveles, productividad y eficiencia de las operaciones actuales. En una segunda etapa, los resultados obtenidos de estas observaciones serán rediseñados y complementados para obtener el diseño de la Cantera para el corto plazo. Por este motivo es fácil ver que la clasificación que mejor se adapta es la investigación correlacional.

IV.2. Diseño de la Investigación

En este trabajo de investigación se procederá a la observación directa de las condiciones de la Cantera, enfocándose en las áreas con problemas estructurales y de seguridad para analizarlas y realizar un diseño de la Cantera para el corto plazo (3 años). Consecuentemente, esta investigación es de tipo no experimental.

IV.3. Universo, población y muestra:

- Universo: Como universo de este estudio se establece la Cantera de Piedra Metacaliza. Tanto la zona general de la Cantera como la zona de explotación y afectación se aprecia en la Figura 4.1.
- Muestra: Se establece que para esta investigación la muestra es el área total de explotación que será afectada por el diseño de explotación.

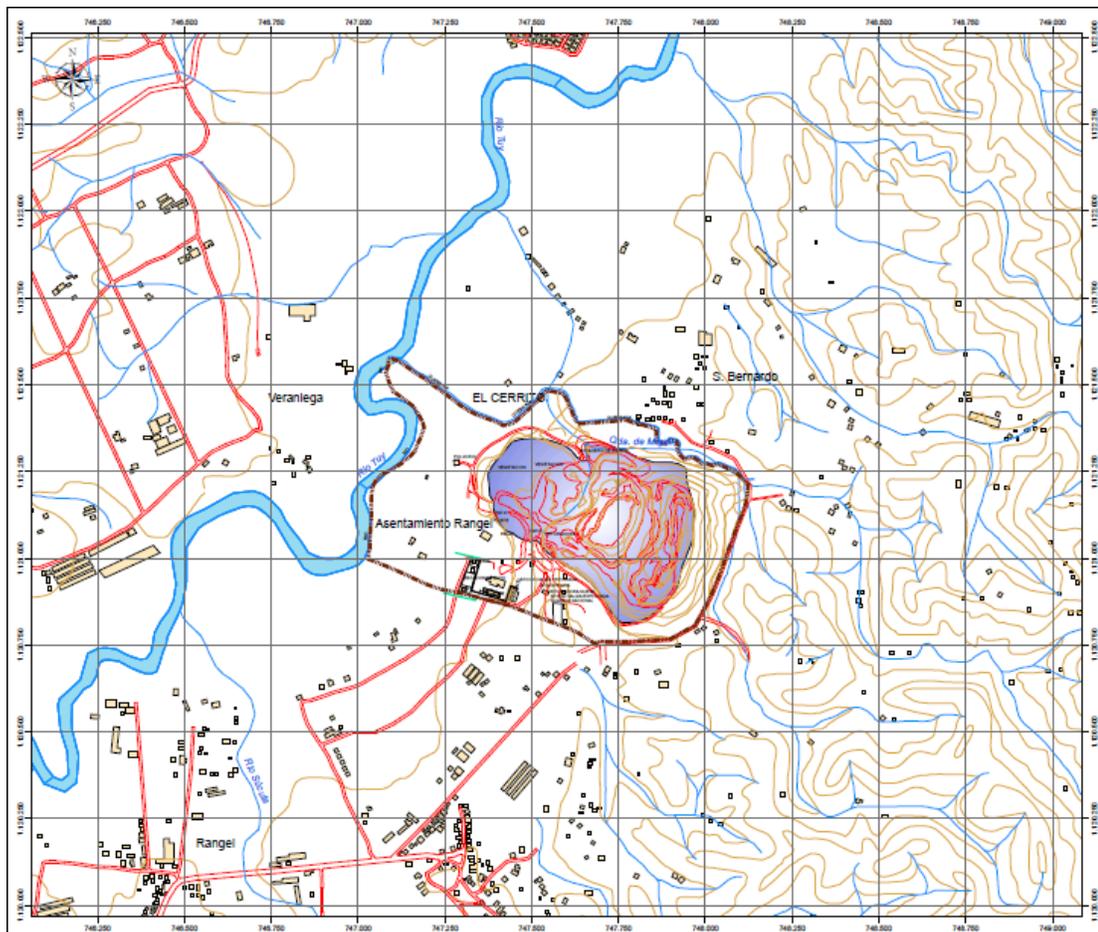


Figura 4.1 Ubicación general de la Cantera y zonas de explotación.

IV.4. Instrumentos, Técnicas y Métodos de Recolección de Datos

Para la realización de este diseño, es necesaria la recolección de una serie de datos referentes a la Cantera, las operaciones mineras en la Cantera y aspectos legales y ambientales relacionados directamente con la explotación de piedra metacaliza. Para dicha recolección de datos se emplearan los siguientes instrumentos, entre otros que puedan surgir durante la realización de la investigación:

- Recopilación de información bibliográfica sobre la Cantera (geológica, topográfica, estructural, etc.), a fin de tener un conocimiento base de la cantera.
- Investigación bibliográfica sobre los conceptos básicos de planificación, diseño de minas a cielo abierto, desarrollo minero y aspectos de seguridad en

canteras a ser empleados en la elaboración del diseño de la Cantera de Metacaliza.

- Entrevistas personales con el personal Cantera para comprender la condición actual de la Cantera y las metas estipuladas para la misma en el corto plazo.
- Administración de cuestionarios a los operadores de equipos de perforación, carga y acarreo de la Cantera para conocer su opinión sobre aspectos de operación y seguridad de las actividades.
- Registro fotográfico y de video de la totalidad de la Cantera y de las diversas zonas de interés, como frentes de explotación, zonas de inestabilidad y vías de acarreo. El registro fotográfico y de video se realizará empleando una cámara digital marca Hewlett Packard Modelo E327 con resolución fotográfica de 6 MP.
- Realización de los planos del diseño de la Cantera empleando software CAD.

IV.5. Análisis de los datos e Interpretación

El análisis e interpretación de los diferentes datos obtenidos se realizará mediante programas informáticos de hojas de cálculos, en donde se plantearán los diferentes parámetros de diseño a ser utilizados durante la investigación. Además, se empleará el programa de diseño asistido por computadora (CAD) para el análisis de los datos topográficos y realización de los diseños respectivos.

IV.6. Limitaciones

En el proceso de realización del presente trabajo se presentaron dos limitaciones principales. En primer lugar, la falta de planos topográficos recientes de la Cantera. Además de esta limitación, los resultados de análisis químicos de ambas campañas exploratorias y dos sondeos exploratorios (número 13 y 15) no están disponibles para ser empleados en el presente trabajo.

CAPITULO V

Resultados y Análisis de Resultados

Determinación de los Parámetros de Diseño de Fosa Final

En la siguiente sección se revisaran los parámetros específicos que se han establecido para el yacimiento de metacaliza que es objeto de estudio. Se iniciará evaluando un modelo geológico básico del yacimiento para poder evaluar las reservas del yacimiento. Usando esta información como base, se realizará el diseño de la fosa límite de la Cantera y, a partir de este diseño, se determinaran los parámetros de diseño operativo para un período de 3 años.

Luego, se determinará el programa semestral y anual de producción para la Cantera en el período de 3 años para cumplir con los requerimientos de producción. Además, se diseñaran las vías de acarreo, taludes operativos, patrones de perforación y voladura óptimos para el desarrollo minero. En última instancia se determinaran los equipos adecuados para la operación de la mina y los fundamentos de elementos ambientales que se requerirán para la operación en la Cantera.

V.1 Geología y Morfología del Yacimiento

El yacimiento está ubicado geológicamente en el borde norte de la denominada “Faja de Paracotos” (González, 1980). Se presenta como un bloque alóctono, embebido en una secuencia de rocas volcánicas y volcano-clásticas, ambas metamorfizadas, pertenecientes a la Formación Paracotos.

Tanto este yacimiento como el antiguo yacimiento El Peñón constituyen los dos afloramientos de caliza más importantes cercanos a Ocumare del Tuy, sin embargo, presentan características litológicas y edades distintas. Mientras el “Peñón de Ocumare” es Cretácico el primero parece ser del Paleoceno, según Geoconsulta (2007). El cuerpo calcáreo de San Bernardo parece ser parte de un bloque alóctono, originalmente de mayores dimensiones, embebido en una secuencia espesa de rocas volcánicas, volcano-clásticas y rocas gnéisicas asociadas, fuertemente meteorizadas, lo cual sugiere su discontinuidad a profundidad o falta de raíz. Esto ha sido confirmado en las perforaciones realizadas, las cuales señalan un límite inferior muy irregular.

Solo en el extremo oriental del área de afloramiento, es posible reconocer algunas manifestaciones de rocas intrusivas y volcánicas metamorfizadas, que conforman el complejo litológico del basamento. En este sector fue posible identificar diferentes tipos litológicos como gneises porfiroblásticos y rocas volcánicas andesíticas, fuertemente meteorizadas, en lo que puede ser una relación tectónica, más que estratigráfica.

El yacimiento tiene una manifestación superficial ligeramente alargada en dirección noroeste a sureste, con una expresión geomorfológica relevante solo en su mitad oriental, en la cual alcanza la altura máxima de 265 m.s.n.m. La mitad noroeste está definida por una superficie semi-plana, con alturas que varían entre los 160 y 180 m.s.n.m.

V.2 Perforaciones Exploratorias

En la Cantera se desarrollaron dos (02) campañas exploratorias con recuperación de testigos. Los núcleos de estas perforaciones se han estudiado y analizado químicamente. La distribución y características de las perforaciones se muestran en el Anexos A.

V.3 Tipo de Rocas

Tres tipos de rocas fueron definidas para facilitar el modelamiento, relleno calcáreo (incluyendo la sobrecarga), calizas y estéril en su base. Estas rocas representan las diferentes unidades necesarias de estimar en el modelamiento, de acuerdo a su posición en las perforaciones y en el levantamiento geológico de superficie. Solo en el caso de la caliza ésta corresponde a la descripción de la unidad litológica de los sondeos.

V.4 Envoltente del Yacimiento

Para fijar los límites de la evaluación fue creado un envoltente. Éste fue definido principalmente con la información del levantamiento geológico de superficie, donde se midieron en algunos casos y en otros se estimaron los contactos de la caliza en

superficie, haciendo una proyección vertical de estos contactos en profundidad. La distribución de los sondeos se muestra en la Figura 5.1. Se excluyó el sector donde se ubican los sondeos 13 y 15, pues de acuerdo a sus resultados en dicha área solo se cortó arcillas.

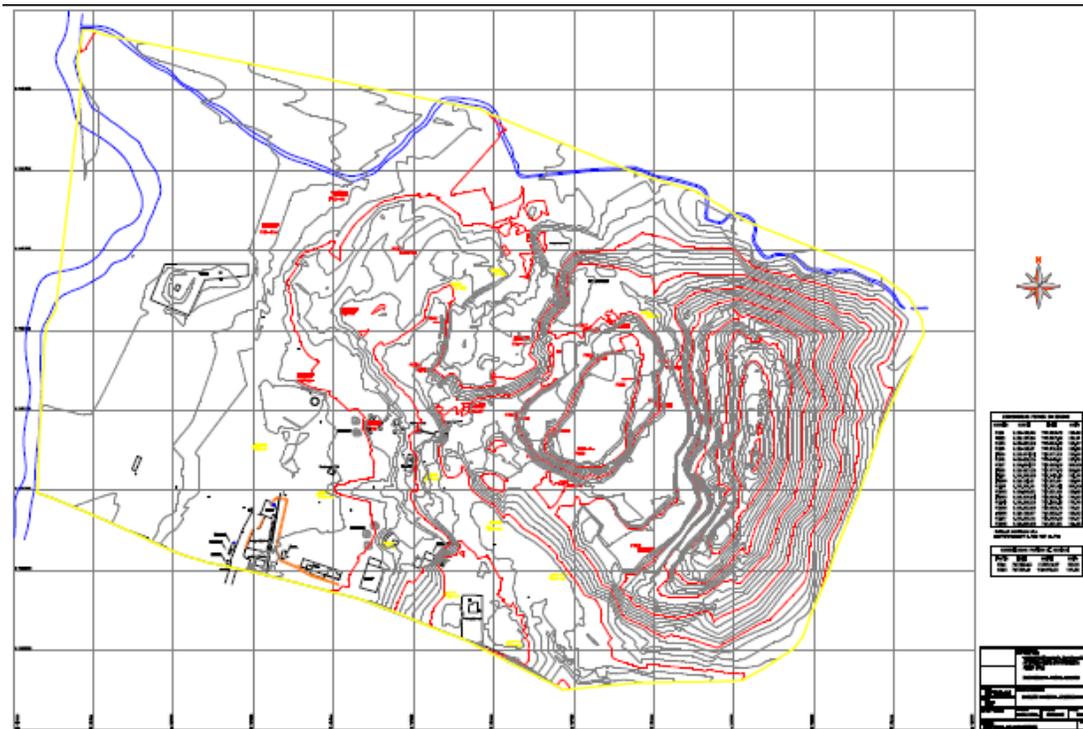


Figura 5.1: Topografía base con ubicación de las perforaciones exploratorias
(Fuente: Propia)

V.5 Interfaces Principales

Las principales interfaces usadas para definir los contactos horizontales o semi-horizontales de los distintos tipos de rocas fueron:

Interface 1	Topografía
Interface 2	Contacto relleno y calizas
Interface 3	Contacto entre calizas y estéril

Las densidades *in situ* (o peso volumétrico) usadas para estimar el tonelaje fueron, según ensayos de laboratorio realizados en la Cantera:

Relleno calcáreo	2,2
Calizas	2,5
Estéril	2,3

V.6 Modelo Geológico

El modelo geológico (MG) se determinó empleando las perforaciones exploratorias, evaluación geológica de superficie e información geológica regional y local. Se realizó un modelo de bloques del yacimiento empleando el programa QMS donde se muestra el cuerpo de caliza y la capa de estéril superior. El MG del yacimiento se aprecia a continuación (Figura 5.2), empleando un modelo de bloques con el programa QMS:

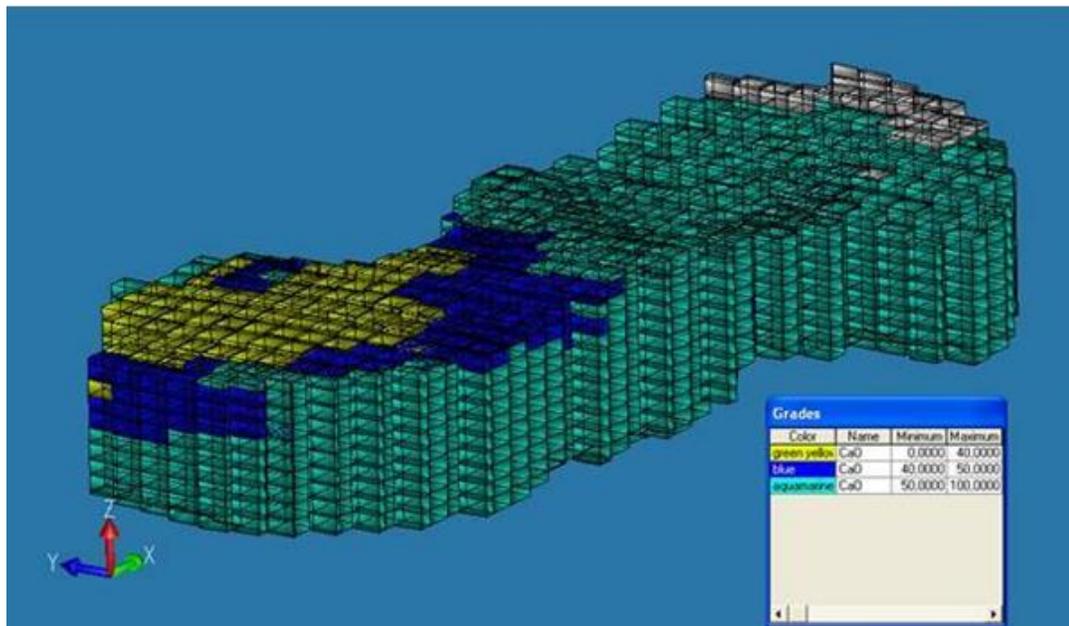


Figura 5.2: Modelo de bloques del yacimiento realizado con el programa QMS y bloques de 25 x 25 m. Los bloques color verde agua representan bloques de caliza con alto contenido de carbonato (Fuente: Lafarge, 2009).

Estos datos corresponden a los recursos geológicos del depósito y no representan las reservas recuperables (reservas probadas), para obtenerlas es necesario contar con el diseño del *pit* final.

Empleando los sondeos exploratorios (mostrados en el Anexo A), se realizó el modelo geológico determinando las capas base de caliza, base de estéril y topografía original. En la Figura 5.3, se muestra la superficie correspondiente al basamento de caliza.

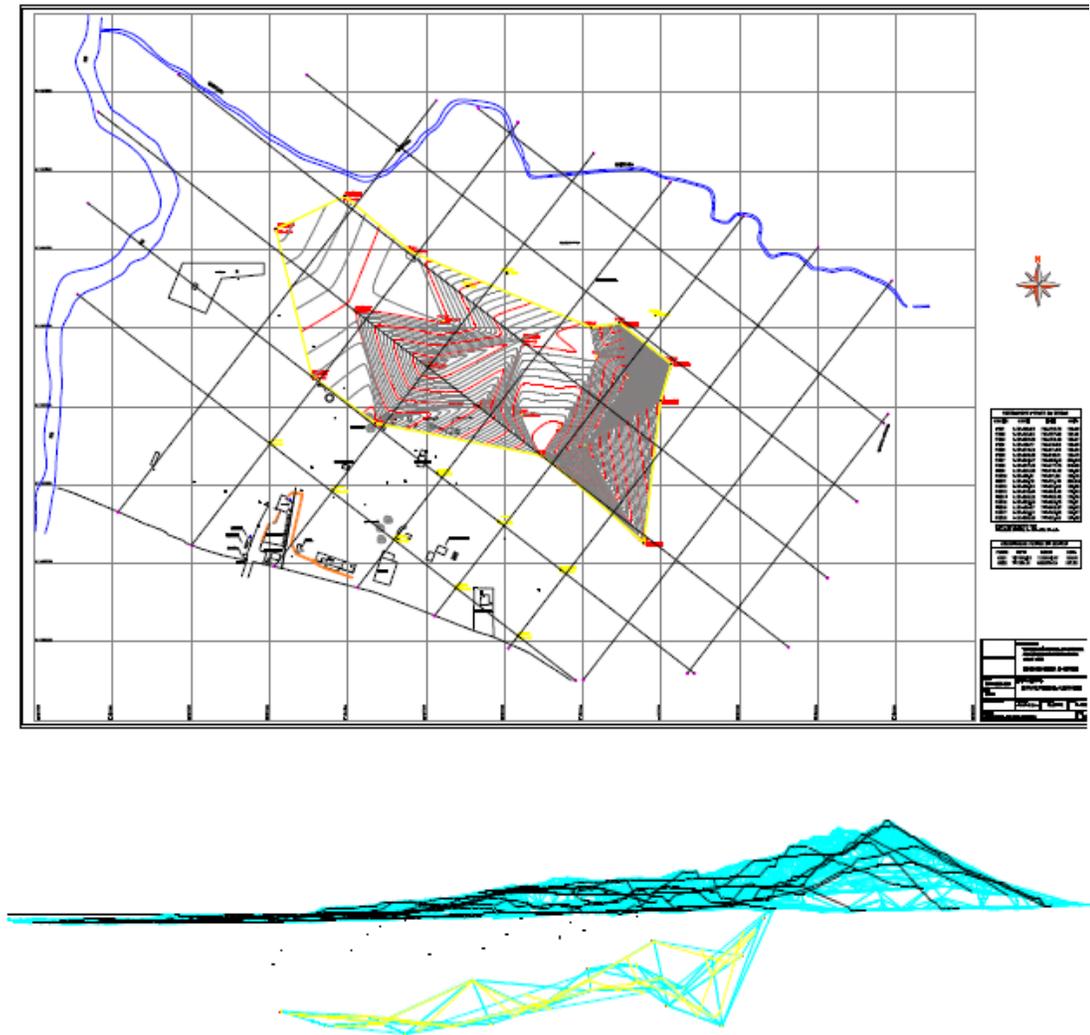


Figura 5.3: Superficie del basamento del yacimiento de caliza (limitada por la línea amarilla en la vista de planta, y las líneas verde y amarilla en la vista de perfil), según los sondeos exploratorios (Fuente: Propia)

Esta superficie se realizó tomando la ubicación de los sondeos y estableciendo como cota, el valor correspondiente al basamento del cuerpo de caliza. De la misma forma se definió la superficie de la capa de estéril superior usando los mismos sondeos y mapeo superficial de la cantera. La superficie de la capa de estéril se muestra en la Figura 5.4.

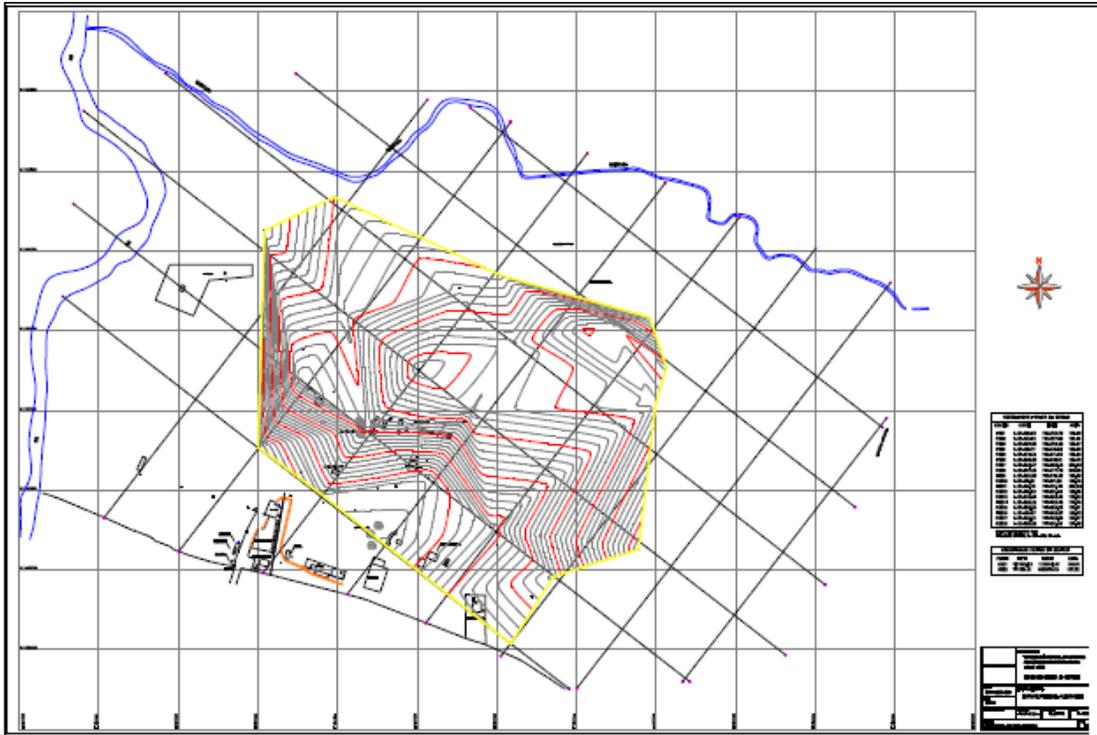


Figura 5.4: Superficie de la base de estéril superior al cuerpo de caliza (delimitada por la línea amarilla). (Fuente: Propia)

Luego de establecer estas tres superficies (topografía original, base de estéril y base de caliza), se estableció el modelo geológico del yacimiento. Se realizaron perfiles cada 100m en dos direcciones perpendiculares para poder visualizar el yacimiento (los cuales se muestran en el Anexo B). Se definieron 14 perfiles (6 en dirección SE-NW y 8 en dirección SW-NE). En la Figura 5.5 y 5.6 se muestran dos perfiles característicos en ambas direcciones.

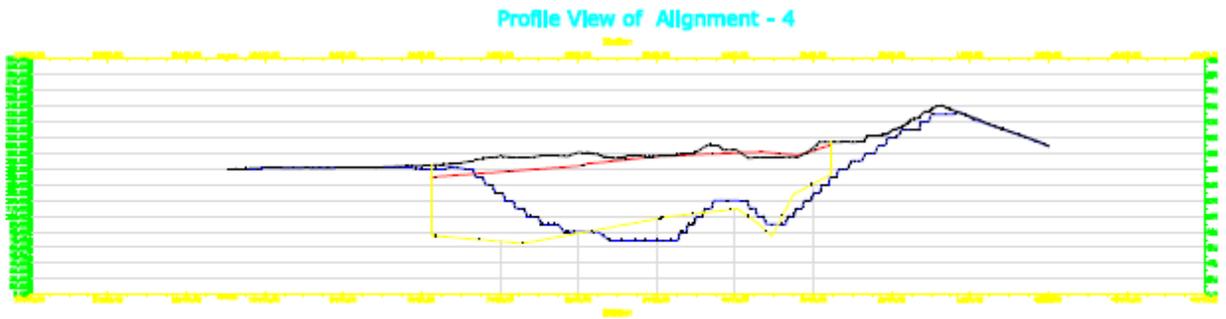


Figura 5.5: Perfil 4 en dirección SE-NW donde se muestran las superficies de topografía base (negra), base de estéril (roja) base del cuerpo de caliza (amarilla) y fosa final (azul). (Fuente: Propia)

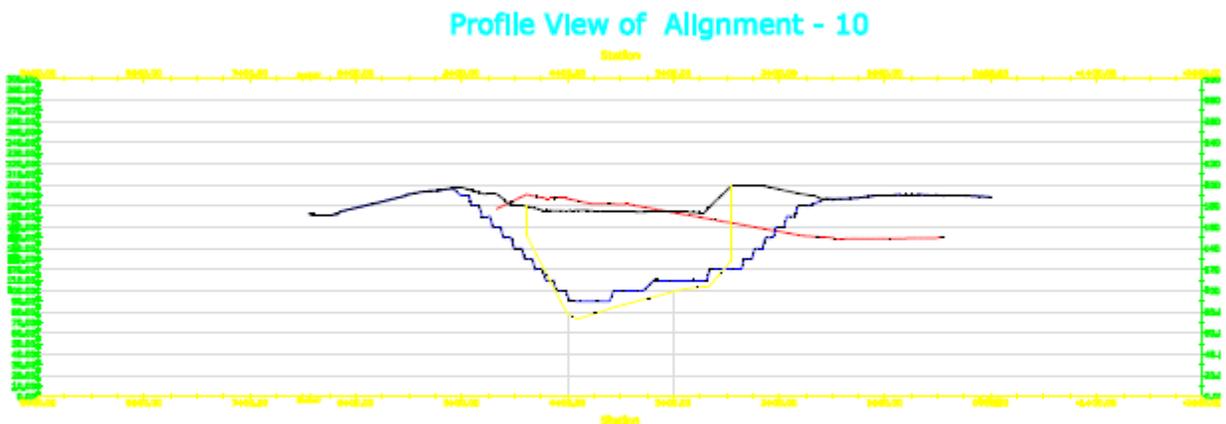


Figura 5.6: Perfil 10 en dirección SW-NE donde se muestran las superficies de topografía base (negra), base de estéril (roja) base del cuerpo de caliza (amarilla) y fosa final (azul) (Fuente: Propia)

V.7. Estimación de Reservas Geológicas

Las reservas geológicas se calcularon empleando las superficies antes descritas. El cálculo se realizó empleando la función de programa CAD y usando las superficies de topografía y base de caliza. El resultado obtenido es:

Volumen Reservas Geológicas = Volumen entre superficies de Topografía y base de caliza = 9.160.150,27 m³

Empleando la densidad establecida anteriormente para la caliza (d = 2.5 ton/m³), se puede obtener el tonelaje de caliza como sigue:

Toneladas de Caliza = Volumen Caliza x densidad = 9.160.150,27m³ x 2.5 ton/m³

Reservas Probadas de Caliza = 22.900.375,68 ton

De la misma forma se hizo el cálculo del volumen de estéril correspondiente a la superficie base de estéril y la topografía base. Dicho cálculo se estimó en:

Toneladas Estéril = Volumen estéril x densidad = 3.277.298,29 m³ x 2.3 ton/m³

Toneladas Estéril = 7.537.786,06 ton

En el Anexo C se muestran los volúmenes de material a ser removidos de acuerdo al diseño de la fosa final de la Cantera para cada nivel o banco.

V.8. Relación de Remoción

Se calculó la relación de remoción (RR) general para el yacimiento de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$RR = \frac{\text{Toneladas de estéril} - \text{topografía (ton)}}{\text{Toneladas de caliza} - \text{esteril (ton)}} =$$

$$RR = \frac{7537786.06 \text{ ton}}{8193140.44 \text{ ton}} = 0.400$$

Con el presente cálculo se establece que, a nivel general para todo el yacimiento, se necesitan explotar 0.400 ton de estéril por cada tonelada de caliza.

V.9. Diseño de la Fosa Final

a. Elementos Estructurales

Los elementos estructurales de la Cantera se definieron mediante exploración superficial de la zona, evaluación de los frentes de exploración y contactos superficiales. Se identificaron las características estructurales que se describen a continuación:

Fallas, Diaclasas, Foliación

Como ha sido indicado, el yacimiento corresponde a un bloque atrapado en el sistema de fallas que definen las fajas tectónicas de Paracotos y Villa de Cura, lo cual limita las dimensiones del yacimiento.

A pesar de que la relación caliza-basamento es un contacto tectónico, en sus inmediaciones no se reconoció la existencia de fallas visibles, ni pliegues en la estructura sedimentaria. Consecuencia de la estratificación masiva, igualmente es muy difícil reconocer los límites de los estratos, a menos que haya un cambio litológico, lo que solo se observa cuando se intercala la arenisca de grano fino a limoso o algunos lentes de arcilla de 1m de espesor.

Lo masivo de la estratificación de la caliza contrasta con la proliferación de sistemas de diaclasas de 3:1, frecuentes en el yacimiento. Sin embargo estas diaclasas pudieron haberse formado debido a los efectos de voladuras realizadas durante las actividades previas.

b. Parámetros de la Fosa Final

El diseño de la fosa final de la Cantera se realizó tomando en consideración los elementos geológicos, estructurales, operativos y seguridad. Luego de establecer el modelo del yacimiento y las características estructurales del mismo, se han definido los siguientes parámetros de diseño para la fosa final:

Altura de banco = 10 m

Ancho de berma = 7.5 m
Ángulo de talud general = 45°
Ángulo de pared de bancos = 75°

Estos parámetros se muestran gráficamente en la Figura 5.8. En la misma se aprecia la vista de perfil y en la Figura 5.9 la vista en planta del talud.

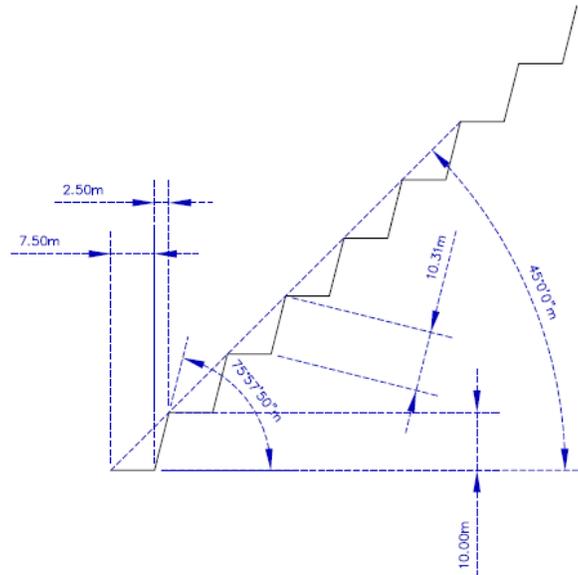


Figura 5.8: Perfil de los parámetros de diseño de talud final (Fuente: Propia)

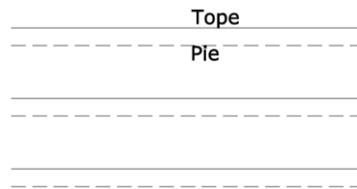


Figura 5.9: Vista en planta del talud (Fuente: Propia)

Los bancos son definidos por la cota de la base del banco respectivo. Tomando estos parámetros de diseño y el modelo geológico del yacimiento, se establece que la explotación se realizará desde el banco 230 al banco 70. Es importante destacar que por razones ambientales y de seguridad se define una distancia mínima de separación de 50 m entre el talud y los cursos de agua cercanos, Quebrada de Miguel y Río Tuy.

En la Figura 5.10 se muestra una imagen general de la fosa final y en la Figura 5.11 se muestra un modelo de los bancos de la fosa final. Es importante resaltar que la estructura identificada como Trituradora "Vieja" debe ser trasladada a otra zona ya que se encuentra sobre reservas de caliza. Debido a esto en el plano respectivo a la fosa final, dichas edificaciones no aparecen, al igual que otras estructuras menores como taller, silo y polvorín.

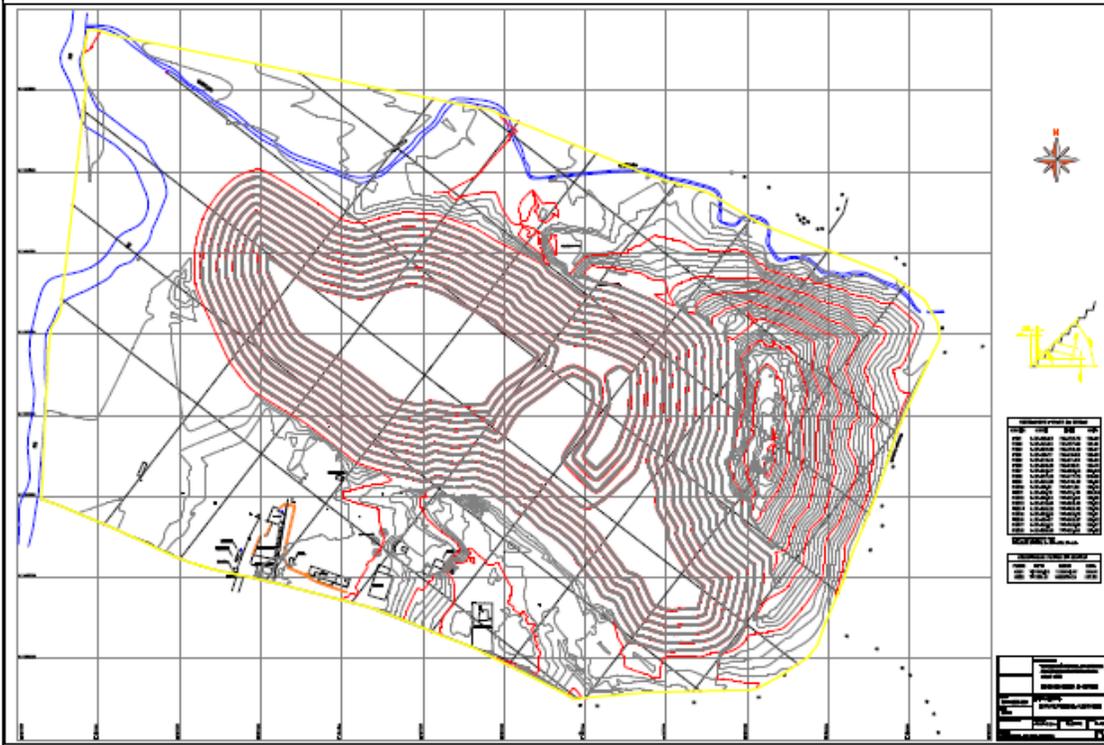


Figura 5.10: Plano general de la fosa final (Fuente: Propia)

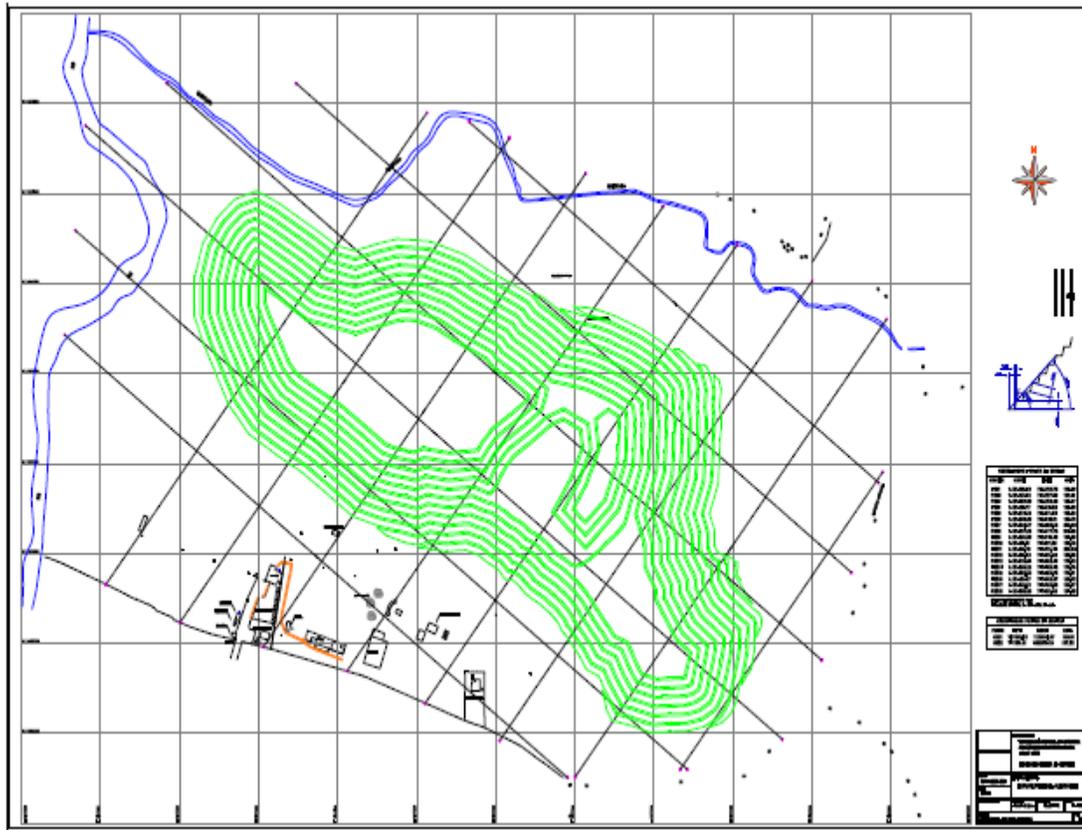


Figura 5.11: Modelo de bancos en la fosa final (Fuente: Propia)

Es posible apreciar la relación espacial entre el diseño de fosa final y las otras superficies desarrolladas, tales como base de caliza, base de estéril y topografía original, en los perfiles que se muestran en el Anexo B. A continuación se muestra un perfil típico de la fosa final de la Cantera (Figura 5.12). En el Anexo C se muestra un plano de la fosa final.

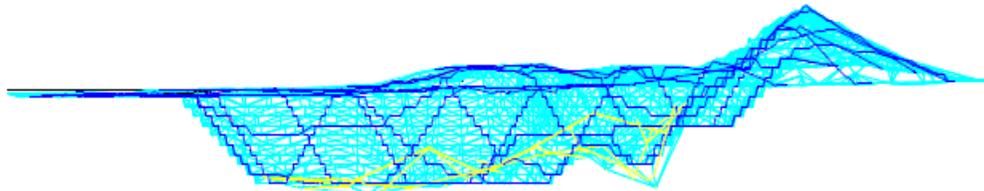


Figura 5.12: Perfil del talud final donde se aprecia la relación con el yacimiento (Fuente: Propia)

Otro elemento importante que debe considerarse a nivel operativo es la presencia de nivel freático en el nivel 160 de la explotación. Este aspecto es importante reconocerlo y desarrollar un estudio detallado para el diseño de sistemas de bombeo adecuados.

c. Planificación de Explotación

La planificación de las actividades para el período de 3 años, se realizó teniendo los siguientes parámetros como lineamientos generales:

- Establecer el orden de explotación iniciando los bancos superiores (nivel 230, 220, entre otros) para permitir un desarrollo ordenado y con mayores niveles de seguridad en las operaciones.
- Delimitar áreas amplias de explotación con la respectiva remoción de estéril superior. Esto permitirá establecer una amplia superficie para la explotación y desarrollo de frentes.
- Establecer la dirección de explotación siguiendo el eje mayor del yacimiento (dirección en sentido SE-NW).
- Explotar los niveles superiores (nivel 230, 220, 210, 200, 190, 180, 170) hasta sus respectivos taludes finales en el extremo oriental de la cantera.

Siguiendo estos lineamientos de planificación y el diseño de la fosa o *pit* final, se establecieron los planes anuales que se describen a continuación.

c.1 Año 1

En el Año 1 se establecen la siguiente producción y niveles a ser explotados:

Volumen total de material = 930.712,57 m³

Volumen de caliza = 558.427,54 m³

Volumen de estéril = 372.285,02 m³

Los niveles de explotación y el modelo de la fosa al culminar el Año 1 se muestran en la Figura 5.13. En el Anexo D se muestra un plano de la fosa al final de este año.

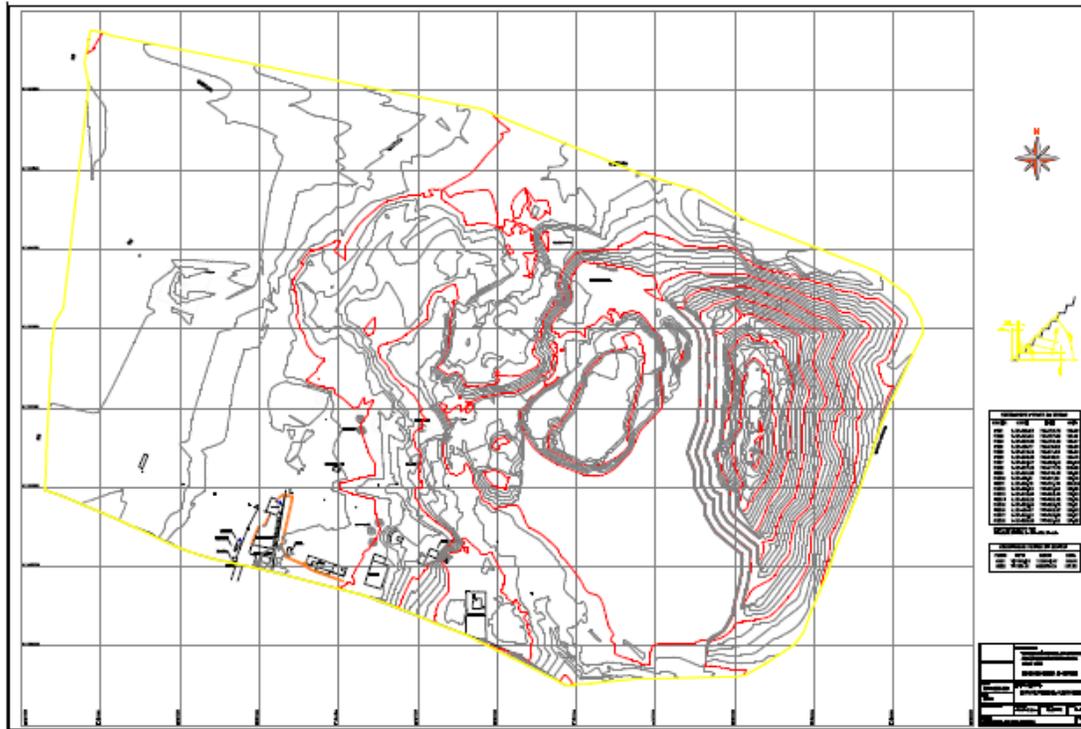


Figura 5.13: Modelo de fosa al final del Año 1 (Fuente: Propia)

c.2 Año 2

En el Año 2 se establecen la siguiente producción y niveles a ser explotados:

Volumen total de material = 1.485.380,68 m³

Volumen de caliza = 594.152,27 m³

Volumen de estéril = 891.228,40 m³

Los niveles de explotación y el modelo de la fosa al culminar el Año 2 se muestran en la Figura 5.14. En el Anexo E se muestra un plano de la fosa al final de este año.

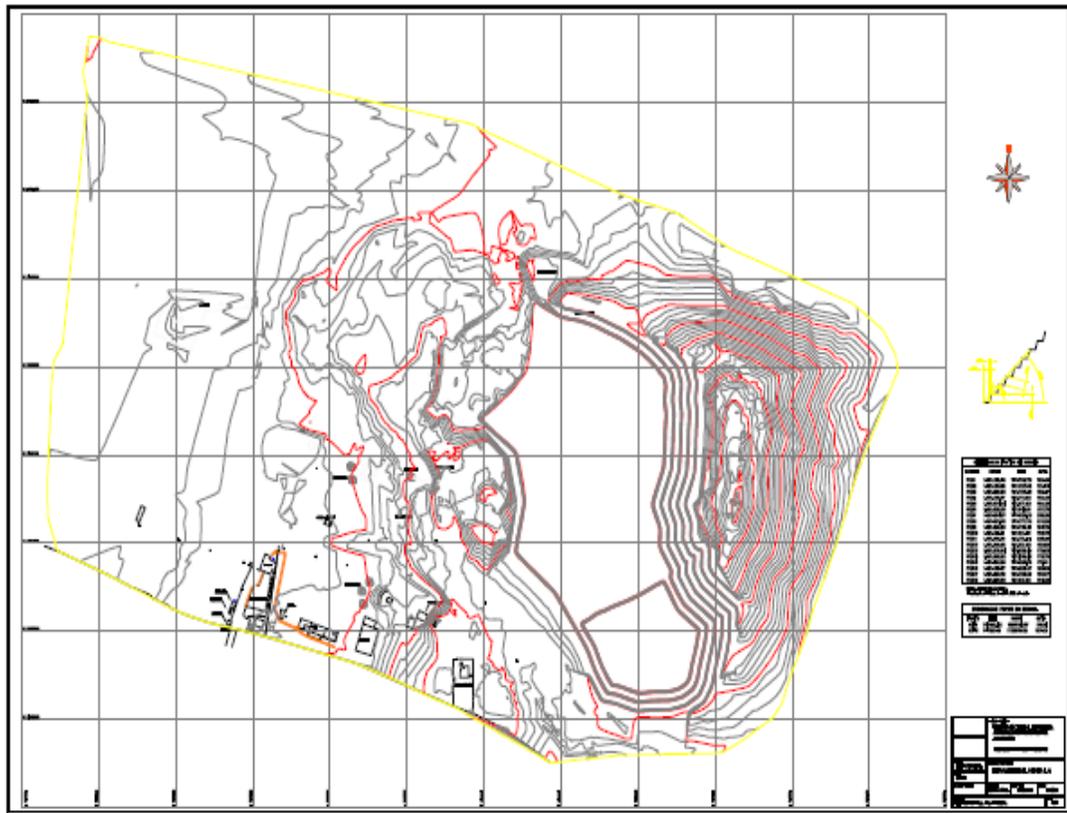


Figura 5.14: Modelo de fosa al final del Año 2 (Fuente: Propia)

c.3 Año 3

En el Año 3 se establecen la siguiente producción y niveles a ser explotados:

Volumen total de material = $962.284,39 \text{ m}^3$

Volumen de caliza = $577.370,63 \text{ m}^3$

Volumen de estéril = $384.913,75 \text{ m}^3$

Los niveles de explotación y el modelo de la fosa al culminar el Año 3 se muestran en la Figura 5.15. En el Anexo F se muestra un plano de la fosa al final de este año.

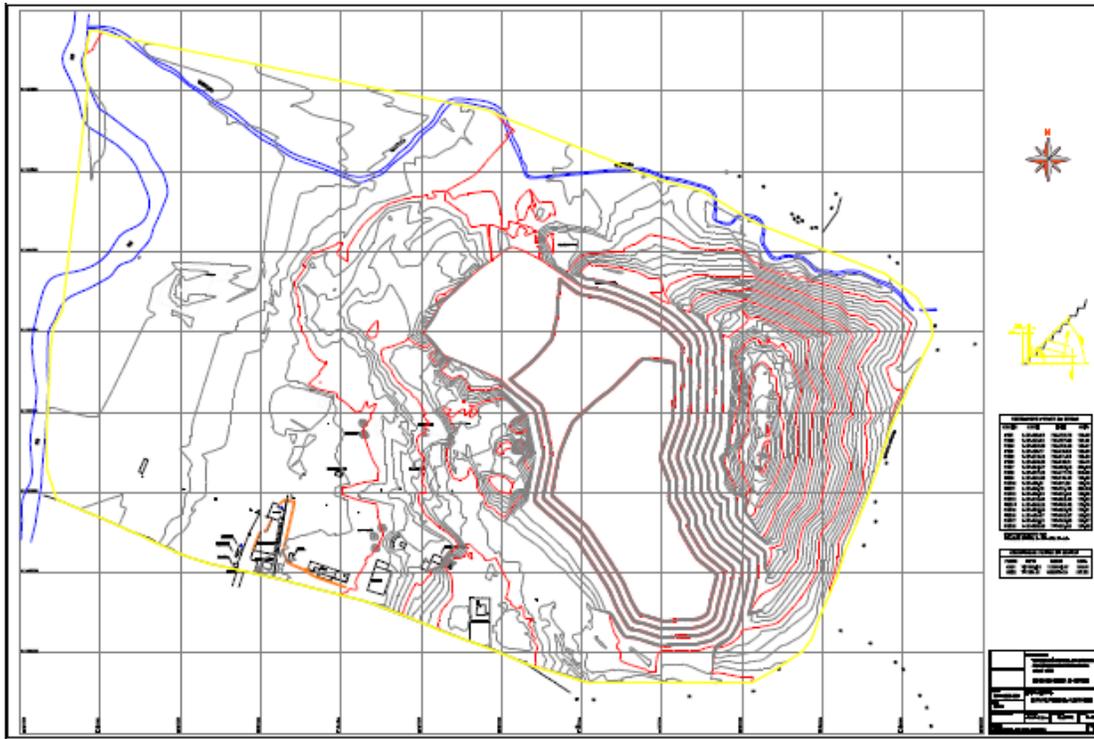


Figura 5.15: Modelo de fosa al final del Año 3 (Fuente: Propia)

CONCLUSIONES

El presente trabajo tiene como objetivo principal el “determinar el diseño óptimo de producción a corto plazo y fosa o *pit* de una Cantera” dando uso a programas informáticos tipo CAD. El uso de las herramientas CAD presentan grandes ventajas en el diseño y planificación de operaciones mineras. El presente diseño permite establecer las siguientes conclusiones:

1. El yacimiento de caliza de la cantera tiene una forma tabular con un ligero buzamiento del cuerpo de caliza en dirección SE-NO. Tal cual se puede apreciar en el modelo del yacimiento, este se encuentra entre los niveles 230 y 70. El cuerpo de caliza tiene un ancho de 300 m y longitud de 600 m, aproximadamente. De acuerdo al modelo del yacimiento, se estima que las reservas de caliza de la Cantera son 22.900.375,68 ton. Tomando en consideración un consumo anual de 1.100.000 ton, se estima la vida de la Cantera en 20,81 años.
2. Siguiendo este modelo del yacimiento y las características topográficas de la Cantera, se ha diseñado una fosa final con 17 bancos descendentes. El desarrollo general de la fosa se realiza siguiendo el eje mayor del yacimiento en dirección noroccidental. Los parámetros seleccionados para el diseño de la fosa se describen a continuación:
 - Altura de bancos: 10m. Esta altura de banco permite un alto nivel de operatividad al poder usar excavadoras hidráulicas y cargadores frontales como equipos de carga. Además, esta altura permite una mejor estabilidad de los taludes, especialmente en los niveles superiores donde la meteorización de los frentes es mayor.
 - Ángulo de talud final: 45°. Este ángulo de talud final permite, en primera instancia, un alto grado de seguridad en las operaciones y estabilidad general del talud final. Además, este ángulo colabora a un máximo aprovechamiento de las reservas ya que sigue la inclinación del basamento del yacimiento en el sector suroriental.

- Ángulo de cara del talud: 75°. El ángulo de 75° ha sido establecido para permitir una mayor estabilidad en los frentes de explotación, particularmente en el proceso de carga y acarreo. Además de esto, otro elemento importante que ha llevado a esta selección es el mejor resultado en voladuras gracias a un mejor desplazamiento del material, según el SME (1992).
 - Ancho de banco: 7.5 m. El ancho de banco con esta medida se ha elegido ya que permite alcanzar el ángulo de talud final de 45° y permite un espacio suficiente para poder garantizar operaciones de cierre de mina más seguras. Esta distancia permitirá establecer actividades de cierre de mina que pueden incluir la reforestación y mantenimiento de los taludes finales.
3. La programación de explotación para los primeros 3 años de desarrollo han sido diseñadas con el objetivo de alcanzar los niveles requeridos de producción y delimitar el desarrollo de la cantera siguiendo los lineamientos de diseño de la fosa final establecida. Para el primer año la explotación de caliza se estima en 1.396.068,85 toneladas (con una relación de remoción de 0.400), desarrollando los niveles 230 al nivel 190. En el segundo año, la explotación se calcula en 1.485.380,68 ton. Es importante destacar que para el desarrollo del segundo año se estima una relación de remoción mayor (RR=0.600) debido un mayor volumen de estéril en los bancos 180 y 170. Finalmente, en el tercer año, el nivel de producción alcanza 1.443.426,58 ton. Para este tercer año la fosa alcanza el nivel 150, con un nivel de remoción de 0.400.
 4. El desarrollo de estos niveles implica una ampliación de las áreas explotables de la cantera. Debido a las actividades de remoción de estéril durante los años 1 y 2, se logra alcanzar los niveles 160 y 150 en donde la caliza se muestra con menos meteorización, según se define por los testigos de las campañas exploratorias. Esto permite desarrollar la cantera de una forma más adecuada y con mayor seguridad para el desarrollo de los frentes y las vías de acarreo.

5. Para el desarrollo de este diseño se ha utilizado el paquete informático Autocad Civil 3D 2014 de la compañía Autodesk. Este programa ha permitido agilizar en gran medida el desarrollo del diseño y la planificación de los primeros tres años. Una las características más importantes de este programa, que también es común para otros programas mineros como Vulcan (Maptek) y Surpac (Gemcom), es el cálculo dinámico y actualización continua de datos y tablas. Por ejemplo, al realizar una vista de sección, la misma cambia dinámicamente al modificar características de la superficie sin tener que realizar una nueva sección.
6. Otro de los elementos importantes que se logra con este programa es la construcción de superficies que pueden representar estratos, fallas, contactos del yacimiento, bancos, etc. Esta característica permite realizar el cálculo de reservas y bancos usando superficies. En el presente trabajo se realizó el cálculo de reservas empleando la superficie de base de caliza obtenida de las perforaciones y la topografía base del yacimiento. Esto facilita el cálculo e modelaje del yacimiento y visualizarlo directamente como un sólido en 3 dimensiones.

RECOMENDACIONES

Al concluir este trabajo es importante resaltar una serie de comentarios y recomendaciones que podrían ser aplicados para una mayor eficiencia y obtener mejores resultados. En lo referente al desarrollo del presente trabajo es importante mencionar lo siguiente:

1. Es altamente recomendable realizar un análisis químico detallado a los testigos de perforación obtenidos de las dos campañas exploratorias. Esto permitirá desarrollar un modelo del yacimiento tomando en consideración las características químicas del mismo y poder establecer, no sólo los elementos geométricos del yacimiento, sino la planificación de la explotación para obtener un máximo rendimiento. Este máximo rendimiento se podría alcanzar combinando zonas de alto tenor con zonas de bajo tenor, que podrían excluirse perjudicialmente.
2. La realización de estudios geotécnicos de los frentes es importante para garantizar en mayor grado la estabilidad de los taludes. Esto es principalmente necesario para el desarrollo de los niveles inferiores al banco 150, ya que no se poseen datos geotécnicos precisos sobre estas zonas. Además estos estudios permitirán ofrecer mayores garantías sobre el diseño de la fosa y establecer cualquier modificación de ser necesaria.
3. También se recomienda el uso de un programa CAD que permita la realización de modelos de bloques y cálculos discretos de una forma más rápida y eficiente. El programa CAD empleado en el presente estudio es muy eficiente en el cálculo de reservas, especialmente con perforaciones distribuidas no uniformemente. Sin embargo, presente limitaciones para el desarrollo de modelos de bloques. Los programas mineros ofrecen varias capacidades que pueden ser aprovechadas para el diseño y planificación de minas y canteras.
4. De igual manera, se recomienda la ejecución de un plan de actualización topográfica trimestral o en su defecto semestral. Esta medida es de gran relevancia para procesos de planificación, diseño y control de operaciones.

Además de esto, la actualización topográfica permite la realización de cálculos de reservas de una forma continua.

5. Se recomienda hacer un estudio y diseño detallado de un sistema de bombeo para bombear el agua proveniente del nivel freático fuera de la cantera. Este factor es muy importante ya que el nivel freático se encuentra en el nivel 160, dicho nivel se alcanza en el año 2 de desarrollo. Debido a esto se recomienda con carácter de urgencia el diseño de estaciones de bombeo para los diversos frentes de explotación. De forma contraria, las actividades de explotación se dificultarán en gran medida y podrían imposibilitarse en ciertos casos.

BIBLIOGRAFÍA

- GEOCONSULTA C.A. (2007). “Estudio de Impacto Ambiental del Yacimiento de Caliza de “San Bernardo””. Ocumare, Venezuela
- Instituto Geominero de España. (2002). “Manual de Voladura”. Madrid, España
- Saya R. (2001). “Plan de Explotación de la Cantera de San Bernardo Ubicada en el Municipio Tomás Lander del estado Miranda”. UCV-FI. Caracas, Venezuela. TEG, inédito.
- Valdivieso N. (2004). “Guía de laboreo a cielo abierto”. Departamento de Minas, UCV-FI. Caracas, Venezuela. Inédito.
- Villanueva A. (1999). “Guía de Operaciones Mineras”. Departamento de Minas. UCV-FI. Caracas, Venezuela. Inédito
- www.lafarge.com (Fecha de consulta: 20 de Diciembre de 2008)
- www.pitandquarry.com (Fecha de consulta: 04 de Junio del 2013)
- Herness, SK., 1977, “Subsurface Representation in Mining Geology,” *Subsurface Geology, Petroleum, Mining, Construction*, L.W. LeRoy, D.O. LeRoy, y J.W. Raese, eds., Colorado School of Mines, Golden, CO, pp. 529-538.
- López J., Carlos y Aduvire P., Osvaldo. (1994) “Estudios de Viabilidad en Proyectos Mineros”. ITGE, Madrid, España.
- Society of Mining Engineering (1992). “SME Mining Engineering Handbook”. 2da Edición. Littleton, Colorado, E.E.U.U.
- Society of Mining Engineering (1979). “SME Open Pit Mine Planning and Design 1979”. New York, NY, E.E.U.U.

ANEXOS

ANEXO A

Los sondeos utilizados en este modelamiento del yacimiento con su profundidad y su ubicación espacial.

Perforación	Norte	Este	Profundidad	Inclinación
PSB-01	1121108,48	747798,78	35,65	-90
PSB-02	1121137,95	747757,86	65,00	-90
PSB-03	1121052,80	747702,43	118,20	-90
PSB-04	1121165,17	747716,83	100,70	-90
PSB-05	1121074,24	747671,53	121,05	-90
PSB-06	1121038,36	747648,01	120,25	-90
PSB-07	1121004,27	747688,63	60,05	-90
PSB-08	1120927,25	747777,78	85,80	-90
PSB-09	1121206,80	747746,46	72,15	-90
PSB-10	1121154,51	747811,69	20,30	-90
PSB-11	1121216,10	747791,44	19,95	-90
PSB-12	1121210,92	747521,88	115,00	-90
PSB-13	1121270,84	747603,49	26,50	-90
PSB-14	1121298,22	747480,42	108,90	-90
PSB-15	1121253,69	747552,75	50,90	-90
PSB-16	1121153,07	747502,37	84,45	-90
PSB-17	1121202,12	747709,52	99,70	-90
PSB-18	1121090,50	747621,56	118,00	-90
PSB-19	1121185,00	747623,00	89,95	-90
PSB-20	1121101,00	747568,00	110,00	-90
PSB-21	1121222,68	747408,92	104,60	-90
PSB-22	1121138,70	747354,42	103,20	-90
PSB-23	1121078,69	747434,75	110,53	-90
PSB-24	1121016,64	747513,73	47,45	-90
PSB-25	1120954,17	747592,41	40,00	-90
PSB-26	1120891,87	747671,22	19,80	-90
PSB-28	1120870,00	747538,00	40,00	-90
PSB-29	1120932,19	747459,09	40,10	-90
PSB-30	1120994,58	747380,34	32,00	-90
PSB-31	1121054,45	747299,97	45,00	-90
PSB-32	1121368,00	747396,00	83,15	-90
PSB-31A	1121326,00	747308,00	81,85	-90

ANEXO B

ANEXO C

ANEXO D

ANEXO E

ANEXO F