

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL**

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“ PROCESO DEL DISEÑO, CONTROL EN EL USO DE
EXPLOSIVOS, Y REFORESTACION,
DE TALUDES DE MINAS A CIELO ABIERTO”

TESIS DE GRADO
Previa a la obtención del TITULO de
INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

FERNANDO DAVID SAAVEDRA GABINO

Guayaquil – Ecuador

1999

DEDICATORIA

MIS PADRES

A MIS HERMANAS

AGRADECIMIENTO

- Al Dr. Paúl Carrión Mero, Director de Tesis
- Al Dr. Julio Cesar Mendes, Profesor UFOP
- Al Geólogo Oscar Jose Tessari – Gerente del Area de Planeamiento, y todos los miembros del GETP y de la MBR en general.
- A todas las personas que de manera directa o indirecta colaboraron con la realización y finalización del presente trabajo.

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Miguel Angel Chávez
Decano de la F.I.C.T

Dr. Paúl Carrión Mero
Director de Tesis

Ing. Jorge Velasco
Miembro del Tribunal

Ing. Miguel Angel Chávez
Miembro del Tribunal

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el Patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Fernando Saavedra Gabino

RESUMEN

El trabajo que sigue a continuación fue posible gracias al convenio existente entre la Escuela Superior Politécnica del Litoral (Ecuador) - ESPOL y la Universidad Federal de Ouro Preto (Brasil) - UFOP, el cual fue realizado en la empresa minera de hierro “Minerações Brasileiras Reunidas” - MBR, que se encuentra en Minas Gerais - Brasil.

El Area donde la MBR tiene sus minas es el denominado “Quadrilátero Ferífero”, debido a la concentración del mineral de hierro, el cual está constituido de grandes depósitos de hierro.

La empresa realiza toda una serie de trabajos en sus minas desde la prospección hasta el diseño final de la mina según las condiciones geológicas y económicas del momento.

El trabajo requisito indispensable para la incorporación como Ingeniero de Minas, es sobre Taludes, el cual está dividido en tres partes:

La primera parte consiste sobre el proceso del diseño de un talud, características, factores, métodos que se utilizan en esta empresa.

La segunda parte es sobre el control del uso de explosivos, tanto para producción como para acabamiento de un talud, llevando un control de las vibraciones producidas por las detonaciones, tanto por el terreno como por la atmósfera, debido a la proximidad de edificaciones de la MBR.

La tercera parte, es la revegetación del talud acabado, esto con dos finalidades, evitar futuras erosiones que disminuyan la estabilidad del talud, y atenuar y restaurar daños al Medio Ambiente.

INDICE GENERAL

RESUMEN	V
INDICE GENERAL.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS.....	XIII
INDICE DE FOTOGRAFIAS.....	XIV
ABREVIATURAS.....	XV
SIMBOLOGIAS.....	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 Convenio.....	18
1.2 Ubicación de la Empresa.....	18
1.3 Cuadrilátero Ferífero	19
1.4 Problemática General y Problemática Local.....	24

CAPITULO II

PROCESO DEL DISEÑO DE UN TALUD

2.1 Objetivo.....	25
2.2 Características Generales.....	25

2.3	Etapas del diseño.	26
2.4	Consecuencias de daños a taludes.	27
2.5	Otras Consideraciones.	28
2.6	Análisis de Estabilidad de Taludes	
2.6.1	Esquema	30
2.6.2	Métodos.	31
2.7	Factores que Condicionan la Estabilidad del Talud	
2.7.1	Niveles de Tensión.	36
2.7.2	Estructura Geológica.	
2.7.2.1	Mapeamiento Geotécnico.	38
2.7.2.2	Proyección Estereográfica.	39
2.7.3	Clasificación de los Macizos Rocosos	
2.7.3.1	Objetivo de las clasificaciones geomecánicas.	40
2.7.3.2	Parámetros comunes de las clasificaciones.	41
2.7.3.3	Principales sistemas de clasificación.	41
2.7.4	Parámetros Geomecánicos	
2.7.3.4	Clasificación de los materiales.	45
2.7.4.1	Ensayos de caracterización física.	46
2.7.5	Influencia del Agua	
2.7.5.1	Características.	47
2.7.5.2	Drenaje.	49
2.7.6	Mecanismos Básicos de Ruptura	
2.7.6.1	Características.	51
2.7.6.2	Planar.	52
2.7.6.3	Cuña.	55

2.7.6.4 Circular.....	57
2.7.6.5 Toppling.....	58
2.8 Caso Práctico.....	60

CAPITULO III

CONTROL EN EL USO DE EXPLOSIVOS

3.1		Objetiv
o.....	70	
3.2 Características.....	70	
3.3 Elementos de una Voladura.....	72	
3.4 Mecanismos Básicos de la Voladura.....	80	
3.5 Normas y Límites.....	81	
3.6 Ondas		
3.6.1 Características.....	82	
3.6.2 Vibraciones por el Terreno		
3.6.2.1 Clasificación.....	84	
3.6.2.2 Daños ocasionados por una mala detonación.....	85	
3.6.3 Vibraciones por la Atmósfera		
3.6.3.1 Características.....	88	
3.6.3.2 Propagación.....	90	
3.6.3.3 Daños debido a airblast y a ruido.....	91	
3.7 Técnicas de Voladura Escultural.....	92	
3.8 Análisis de Daños a Taludes.....	95	
3.9 Control de las Voladuras.....	96	
3.10 Caso Práctico.....	97	

CAPITULO IV

REVEGETACIÓN DE TALUDES

4.1	Objetivos.	115
4.2	Características.	115
4.3	Formas de Control.	116
4.4	Factores que condicionan la Revegetación Natural.	117
4.5	Fases de Sucesión natural.	119
4.6	Precolonización en el proceso de revegetación.	120
4.7	Preparación del Suelo.	123
4.8	Dinámica de los Vegetales.	125
4.9	Caso Práctico.	128
V.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.	129
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	132

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE FIGURAS

	pag.
Figura 1.1	Contexto geológico del cuadrilátero Ferrífero en el cratón22
Figura 2.1	Factor de seguridad vs. ángulo de talud 29
Figura 2.2	Angulo de talud vs. Volumen de tierra a mover 29
Figura 2.3	Métodos empíricos 31
Figura 2.4	Modelos físicos 32
Figura 2.4.1	Clasificación de los métodos numéricos 33
Figura 2.5	Método de Diferencias Finitas 34
Figura 2.6	Método de Elementos Distintos 34
Figura 2.7	Método Tridimensional 35
Figura 2.8	Tensión Virgen36
Figura 2.9	Tensiones Inducidas37
Figura 2.10	Proyección estereográfica39
Figura 2.11	Resistencia al cizallamiento42
Figura 2.12	Resistencia al cizallamiento de superficies rugosas43
Figura 2.13	Ejemplos de JRC 43
Figura 2.14	Aplicabilidad del criterio de hoek-Brown 44
Figura 2.15	Esquema de fuerzas sin y con la presión del agua 47
Figura 2.16	Tensión efectiva 47
Figura 2.18	Tipos de Drenajes en una mina 50
Figura 2.19	Tipos de rupturas representadas en un talud 51
Figura 2.20	Ruptura Planar 52
Figura 2.21	Fuerzas que actúan en una ruptura planar 53
Figura 2.22	Relación entre altura del talud y función del ángulo del talud 54
Figura 2.23	Ruptura en cuña 55
Figura 2.24	Vista frontal de fuerzas en ruptura de cuña. 55
Figura 2.25	Vista lateral de fuerzas en rupturas de cuña 56
Figura 2.26	Fuerzas representadas en proyecciones estereográficas. 56

Figura 2.27	Ruptura circular.	57
Figura 2.28	Ruptura por tombamiento	58
Figura 2.29	Toppling flexural	59
Figura 2.30	Toppling por caídas de bloques	59
		pag.
Figura 2.305	Pit Final – Niveles de Tensión.	67
Figura 2.31	Cálculos de tipos de rupturas por el programa Xstabl	67
Figura 2.32	Factores geomecánicos Principales tipos de ruptura de MAC	69
Figura 2.34	Angulos Generales de taludes – MAC	69
Figura 3.1	Fragmentación vs. estabilidad	72
Figura 3.2	Elementos de una voladura	73
Figura 3.3	Características en afastamientos	76
Figura 3.4	Sub-perforación	78
Figura 3.5	Mecanismo Básico de Detonación	80
Figura 3.6	Acción del movimiento de la masa	80
Figura 3.7	Velocidad de partícula vs. frecuencia	81
Figura 3.8	Velocidad vs. frecuencia	82
Figura 3.9	Elementos de una onda	83
Figura 3.10	Superposición de ondas	83
Figura 3.11	Resonancia	83
Figura 3.12	Ondas de Compresión	84
Figura 3.13	Ondas Superficiales	85
Figura 3.14	Tipos de ruido	89
Figura 3.16	Vibraciones por el terreno – primer trimestre	100
Figura 3.17	Vibraciones por la atmósfera – primer trimestre	100
Figura 3.19	Vibraciones por el terreno – seg. trimestre	108
Figura 3.20	Vibraciones por la atmósfera – seg. trimestre	108
Figura 4.1	Técnica para corregir el talud antes de sembrar	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Clases de Macizo	41
Tabla 2.2	Grado de consistencia	135
Tabla 2.3	RQD.	136
Tabla 2.4	Grado de Alteración.	136
Tabla 2.5	Grado de fracturamiento.	137
Tabla 2.7	Ejemplos de permeabilidad	49
Tabla 2.8	Parametros de Clasificación Bieniawski	63
Tabla 2.9	Indices Físicos.	64
Tabla 2.10	Ejemplos de resistencias.	64
Tabla 2.11	Roca Intacta – Caracterisitcas de Resistencias	65
Tabla 2.12	Dolomito Ferruginoso Alterado)Ia), Factores de Seguridad	65
Tabla 3.1	Agentes de la detonación.	87
Tabla 3.2	Daños a roca vs. Vp	87
Tabla 3.3	Tensión de la roca vs Vp	88
Tabla 3.4	Tiempo de exposición máximo según la presión sonora.	90
Tabla 3.5	Características de desmonte escultura.	94
Tabla 3.7	Instrumentación de Detonaciones – primer trimestre	98
Tabla 3.8	Cálculos de las Instrumentaciones – primer trimentre	99
Tabla 3.12	Instrumentación de Detonaciones – Abril	102
Tabla 3.13	Instrumentación de Detonaciones – Mayo	103
Tabla 3.14	Instrumentación de Detonaciones – Junio	105
Tabla 3.15	Cálculos de las Instrumentaciones – seg. trimestre.	107
Tabla 3.16	Razón de carga	113
Tabla 3.17	Tipo de malla en MAC	113
Tabla 3.18	Plano de carga MAC – filito	114
Tabla 3.19	Plano de carga en Tamandua – filito	114

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Foto 2.1	Ruptura en cuña	56
Foto 2.2	Ruptura circular	57
Foto 2.3	Ruptura Planar	54
Foto 2.4	MAC – Angulos Generales de MAC	68
Foto 3.1	Acabado de un talud	94
Foto 4.1	Preparación del suelo con tractor	123
Foto 4.2	Preparación manual del suelo	124

ABREVIATURAS

UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto - Brasil
MBR	Minerações Brasileiras Reunidas - Empresa de hierro – Brasil
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais - Brasil
RSV	René de Souza Viel Geólogo encargado de la Geotecnia – estabilidad de taludes de las minas.
PRF	Paulo Ricardo B da Franca Ms. Encargado de la estabilidad de depósitos de estériles y presas de residuos
LRL	Luiz Cerello Geólogo encargado del área de control de las voladuras y acabamiento de taludes
ABGE	Asociación Brasileira de Geología de Ingeniería
IBRAM	Instituto Brasileiro de Minería
MAC	Minas de Aguas Claras
MUT	Mina de Mutuca
PIC	Mina de Pico
TAM	Mina de Tamanduá
P	Fósforo
SiO ₂	Oxido de Sílice
Al ₂ O ₃	Oxido de Aluminio
FS	Factor de seguridad
Ib	Itabirito
Qt	Cuarcito
Fi	Filita
Fs	Filita cericítica
Fd	Filita dolomítica
Xt	Equisto
RQD	Rock quality desing
Mpa	Mega Pascal
CO ₂	Dióxido de Carbono
N	Nitrógeno
H ₂ O ₄	Oxido de Hidrógeno
CO	Monóxido de Carbono
ON	Oxido Nitroso
JRC	Coeficiente de rugosidad de juntas
JCS	Resistencia a la compresión de las paredes de las juntas

SIMBOLOGIAS

d	Diámetro de Peroración
Ap	Afastamiento
Ar	Afastamiento Real
e	Espaciamiento
s	Sub-perforación
T	Taponamiento
V	Velocidad de detonación
dB	Decibeles
DE	Distancia escalonada
f	Frecuencia
vp	Velocidad de partícula
λ	Longitud de onda
δ	Peso Específico
$\varnothing$	Diámetro
L	Ancho de berma
H	Altura de banco
A1	Angulo de banco
A2	Angulo general
σ	Compresion uniaxial
c	Cohesión
ϵ	Deformación
mi	Constante de roca intacta
σ_1, σ_3	Tensiones en la ruptura
mb,a	Constante para roca fracturada
U	Presión del agua
K	Coeficiente de permeabilidad
β	Angulo del plano de deslizamiento
ϕ	Angulo de rozamiento
A	Superficie del plano de ruptura
ϕ_a	Angulo de rozamiento con agua
V	Empuje de agua
W	Peso del macizo

R	Distancia radial
Q _{max}	Carga máxima de explosivo por retardo
Q _t	Carga total de explosivo
D	Distancia de la voladura al lugar de medición
E	Modulo de young
P	Presión en pascal
P _o	20μ Pa

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo “Proceso del Diseño, Control en el Uso de Explosivos y Revegetación, en Taludes en Minas a Cielo Abierto” trata de seguir una secuencia en la vida de un talud basado en trabajos realizados en la empresa de minería - MBR para sus diversas minas, ayudado por un grupo de profesionales encargados del área de Geología Aplicada de la Gerencia Técnica de Planeamiento de dicha empresa.

Primero una vision general del diseño del talud - geotecnia con ayuda de los conocimientos y experiencias de RSV y PRF, observando en las minas los diversos problemas que se producen durante la explotación y las posibles soluciones.

A seguir desmonte de roca con uso de explosivos, colaborando con LRL en el monitoriamiento de las vibraciones tanto terrestres como atmosféricas especialmente de dos minas que se encuentran muy cerca de un condominio residencial.

El último paso en la estabilización del talud con vegetación, para lo cual consulte con Ing. Agrónomo Francisco de Assis Lafetá Couto de la Gerencia de Medio Ambiente, sobre el proceso de revegetación y la importancia de este en la vida de un talud..

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 Convenio

El presente trabajo fue realizado gracias a convenio existente entre la Escuela Superior Politécnica del Litoral – ESPOL y la Universidad Federal de Ouro Preto (Brasil) – UFOP , dentro del programa ALFA, también por la ayuda y colaboración del Dr. Paúl Carrión Mero – ESPOL y el Dr. Julio Cesar Mendes – UFOP.

Igualmente la UFOP mantiene convenios con empresas de minería del Brasil, como Minerações Brasileiras Reunidas – MBR, donde se realizo el trabajo.

1.2 Ubicación de la empresa

La empresa Minerações Brasileiras Reunidas – MBR, está ubicada en Minas Gerais – Brasil, la cual posee varias minas en diversas situaciones de explotación, tanto desde el punto de vista de la vida de la mina como de las características que intervienen en el proceso de explotación.

Las diversas minas se encuentran en el denominado ***Quadrilátero Ferrífero***, debido a la concentración del mineral de hierro, el cual está constiuido de grandes depósitos ferríferos ligados a los itabiritos de la formación Cauê del grupo Itabira (Super Grupo Minas) del proterozoico inferior y raramente ligados al grupo Itacolomí y a la formación Gandarela.

El Quadrilatero Ferrífero, está inserido en la parte meridional de cratón de San Francisco, que constituye una plataforma, cuyo embasamento se consolidó en tiempos pre-brasilianos (Almeida – 1977).

1.3 Quadrilátero Ferrífero[2]

La evolución tectónica del Quadrilatero Ferrífero está caracterizado por repetidos ciclos de crecimiento de la costra cuyo inicio se remonta al Arqueano Medio.

La evolución geológica del Neo Arqueano está bien caracterizada y su término coincide con la actuación del Evento Rio das Velhas (2,78 Ga). En el transcurso del Proterozóico el fragmento de costra, consolidado en el Neo Arqueano, fue sometido a unos 3 ciclos tecto-sedimentarios, que dieron origen a los Super Grupo Minas, Grupo Sabará y Grupo Itacolomí, y al Super Grupo Espinhaço.

La evolución del Super Grupo Minas culmina con actuación del Evento Transamazônico (2.0 Ga), de poco involucramiento de la costra.

Compuesto por tres Unidades lito-estratigráficas:

La Primera Unidad:

Presenta una gran diversidad petrográfica, que está predominantemente relacionada a rocas metamórficas y subordinadamente a rocas ígneas. Ese tipo de asociación litoestratigráfica

constituye un complejo metamórfico típico (Carneiro – 1992), que posee una amplia distribución por todo el segmento meridional del cratón.

Este complejo metamórfico há recibido varias denominaciones, como:

Terrenos granito-greenstone (Mascarenhas et al., 1984)

Terrenos migmatíticos-granulíticos, graníticos e granito –greenstone
(Inda et al., 1984)

Complexo Divinópolis e Complexo Barbacena (Machado Filho et al., 1983)

En la región del Q. F., formalmente individualizado, el complejo metamórfico há recibido algunos adjetivos geográficos:

Complexos Metamórficos:

Baço (no interior da sequencia supracrustal)

Caeté (no extremo nordeste)

Belo Horizonte (norte)

Congonhas (sul)

Bonfim (aflorante a oeste da serra da Moeda)

La Segunda Unidad:

Constituye una espesa secuencia sobre la costra, que es compuesta por cinturones deformados de rocas de naturaleza vulcanosedimentarias metamorfasadas en esquisto verde. Esa secuencia denominada Super Grupo Rio das Velhas esta formada por los Grupos Quebra Ossos, Nova Lima y Maquiné.

El Grupo Quebra Ossos, unidad basal, está constituida por vulcanitos y sedimentos químicos/clásticos deformados.

El Grupo Nova Lima es una unidad esencialmente metasedimentaria.

El Grupo Maquiné constituye una unidad clástica de equistos, filitas, cuarzo-filitas y cuarcitas, con hasta 2000 metros de espesura y su contacto con el grupo Nova Lima varia de gradacional a discordante.

La Tercera Unidad:

Sobre puesta al Grupo Rio das Velhas, está constituida por un espeso paquete metasedimentario que incluye formaciones ferríferas bandeadas del tipo Lake Superior, vulcanitos y abundante material clástico, compuesta por Super Grupo Minas, Grupo Itacolomí y Super Grupo Espinhaço.

La actuación del intemperismo, o sea el proceso de alteración supergénica es el principal responsable por el desenvolvimiento del minerio friable de alto tenor de hierro (67%), donde el 85 % es hematita no compacta.

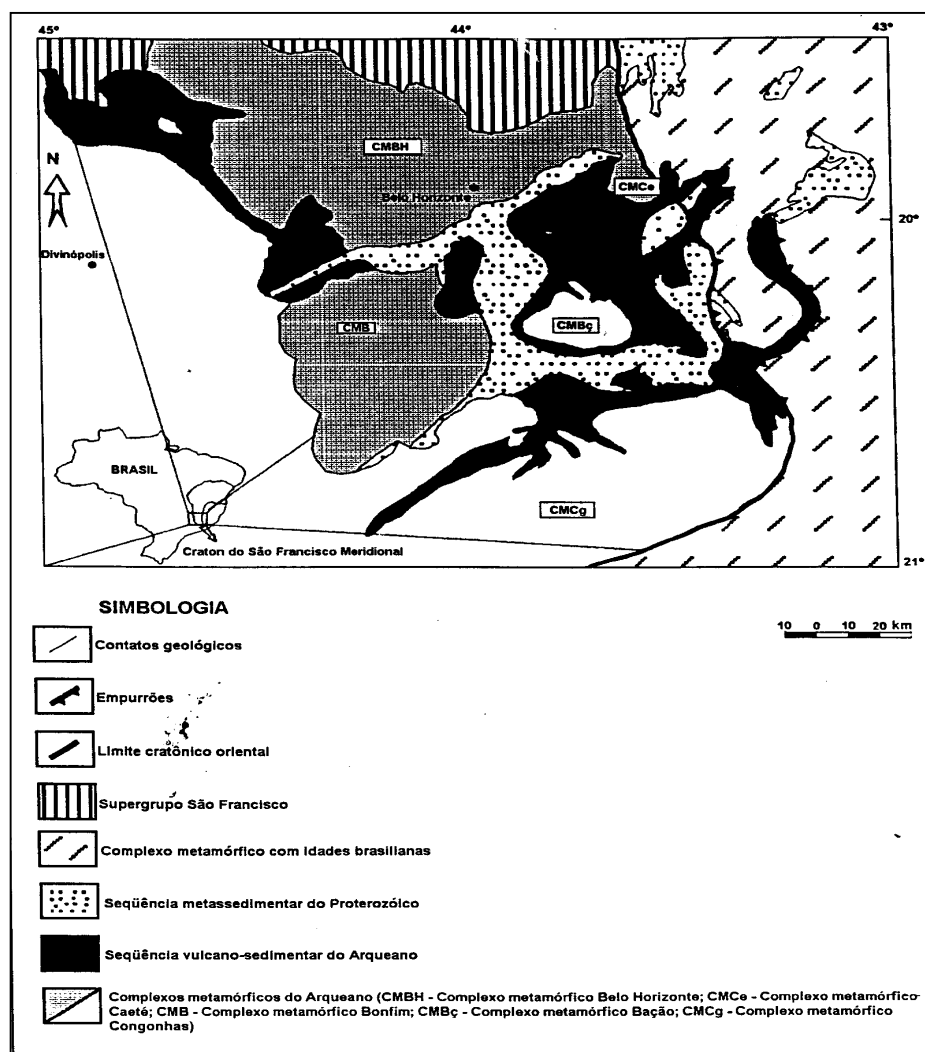


Fig. 1.1 - Contexto geológico del Cuadrilátero Ferrífero en el cratón São Francisco meridional

1.3.1 Principales Componentes Litológicos[4]

Hematita

Clasificación: Lump-ore (LO) -2 a +1/4"

Sinter-feed (SF) -1/4" a +100#

Pellet feed fine (PFF) -100#

Contaminantes P, SiO₂, Al₂O₃

Fósforo como goetita, limonita, arcilla ocre

Itabiritos

%visual: material compacto, no compacto, pulverulento

grado de liberación en la faja granulométrica del SF [alta, media, baja]

clasificación: rico % sílice en SF<10%

pobre % sílice en SF>10%

Canga

Avaliación: granulometría

alto grado de contaminación de Al₂O₃ y P

Roca estéril

Filitas

Cuarcitas

Carbonatos

...

1.3 Problemática General y Local

Problemática General

La empresa MBR posee minas de hierro, las cuales se encuentran en distintas etapas de vida, hay unas que en un par de años cerrarán y otras que comenzarán la explotación.

Debido a esto, se realizan trabajos desde la exploración hasta la recuperación del medio ambiente, siendo posible observar estas etapas en las diversas minas.

Lo principal para el trabajo, sean cálculos de reservas, producción, taludes, etc. es el correcto muestreo y su debida interpretación tanto en la exploración como durante la explotación.

Problemática Local

Debido a la facilidad de trabajar en las distintas etapas de vida de la mina, el trabajo trata sobre el proceso del diseño del talud, que no acaba con el cálculo de los ángulos, sino que hay que llevar un monitoreo tanto del trabajo de acabamiento como de la geología que se presenta durante la explotación.

Dentro del diseño del talud tiene mucha importancia el control del uso de los explosivos y posteriormente la revegetación donde realmente termina el proceso del diseño del talud.

CAPITULO II

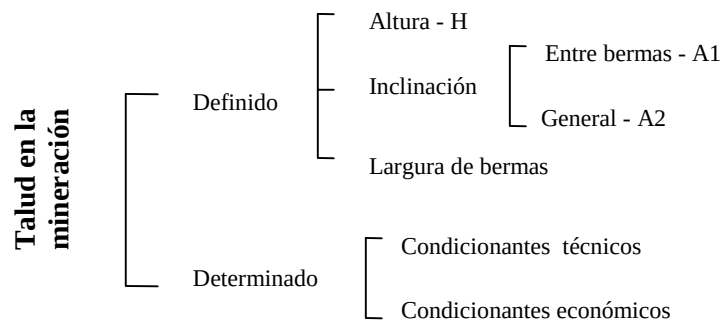
PROCESO DEL DISEÑO DE TALUDES

2.1 Objetivo

El objetivo de diseñar el talud de una mina, es determinar los máximos retornos financieros, ya sea por aumento de mineral explotado, disminución de estéril, y seguridad en el trabajo.

Tener un talud inestable puede significar posteriores gastos en limpieza por deslizamientos, deteniendo temporalmente el trabajo o perdiendo parte del mineral por contaminación y en algunos casos hasta tener que abandonar la mina por la gran cantidad de material estéril que pueda deslizarse.

2.2 Características Generales



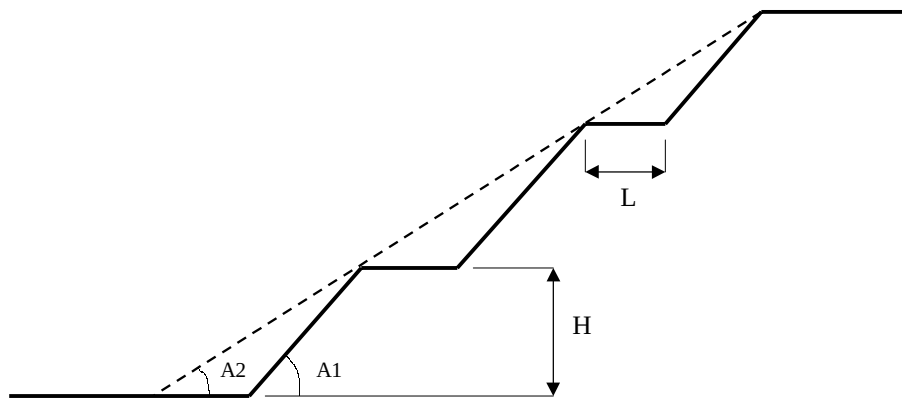


Fig. 2.1 Angulos de Talud Básico

2.3 Etapas del diseño[12]

El diseño de un talud se lo puede dividir en dos etapas:

La primera

Es evaluar la estabilidad del talud en base de los parámetros técnicos.

Los parámetros técnicos pueden clasificarse en 4 grupos:

La parte operativa de la mina,

tipo de equipos disponibles, perforadoras, cargadoras, camiones, etc.

La geometría,

aquí se incluyen factores como topografía (posición de la mina), área disponible para la mina, área de concesión, características de ambiente externo (Medio Ambiente), altura de los bancos, etc.

La geología,

se debe tener un conocimiento de litología, tipo de estructuras, grado de alteración, características geomecánicas

La Hidrogeología,

preferentemente trabajar con nivel freático mucho más bajo que el banco de trabajo, es

decir, trabajar sin agua

La segunda

Es incorporar los resultados a los estudios financieros.

En este grupo varios factores, como:

Demanda y precio del producto en el mercado

Tasa de producción prevista

Vida útil de la mina (reservas)

Costo de implantación,

Costo de producción

Tenor mínimo de explotación

Relación estéril/mineral

2.4 Consecuencia de Daños a Taludes[13]

Al tener un talud inestable se corre peligros de vidas y económicos

Si hay un deslizamiento se puede:

Tener una contaminación del mineral a ser explotado, en algunos casos si el volumen de estéril deslizado es muy grande puede cerrar una mina al ser muy costoso el limpiar todo el material.

En obras civiles se necesita hacer cortes exactos en el terreno, sino se tiene que aumentar la cantidad de concreto para rellenar y tapar los cortes excesivos en las paredes de macizo.

Necesidad de uso de materiales de contención.

Aumento en los costos de manutención, limpieza de deslizamientos pequeños, etc.

Necesidad de dejar mayores bermas.

Al trabajar en subterráneo, se precisa dejar mayores pilares, perdiendo mineral y teniendo un menor flujo de aire y agua.

En fin se llega a un punto donde;

***hay que escoger gastar más en el acabamiento de un talud
para tener una economía a largo plazo.***

2.5 Otras Consideraciones^[12]

Se debe saber escoger el tipo de perfil a tener en la mina, según el tipo de material, economizando y mejorando la estabilidad: convexo (cóncavo) plano /

Hay que escoger la altura de cada banco y su ángulo de talud individual, que dependerán tanto del tipo de roca como del equipo a realizar la limpieza.

En geotecnia el riesgo de colapso de un talud se mide en función del factor de seguridad F, que es la relación entre el conjunto de fuerzas resistentes y las desestabilizadoras que provocarían la ruptura del talud.

Podemos observar gráficos; en el que, el factor seguridad depende del ángulo del talud, y el volumen de estéril a ser trabajado depende del ángulo del talud.

El aumento del factor de seguridad disminuye el ángulo del talud y a la vez aumenta el volumen de estéril a ser limpiado.

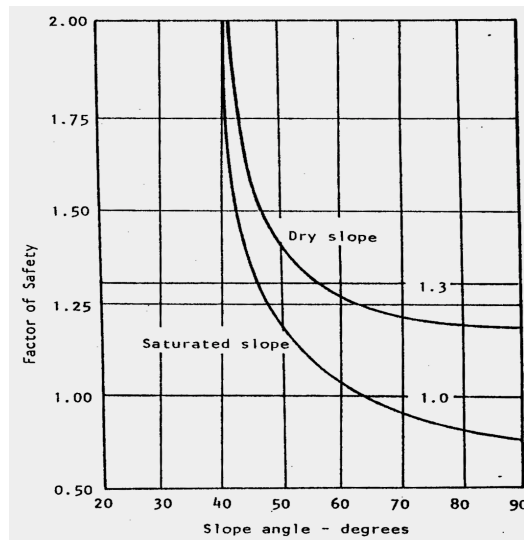


Fig. 2.1 - Factor de seguridad vs. ángulo de talud [6]

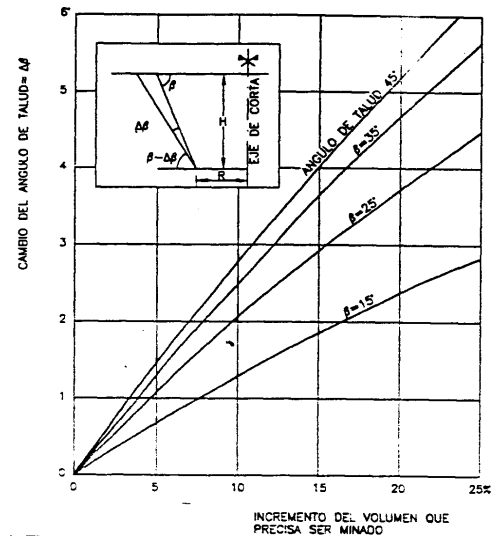


Fig. 2.2 - Angulo de Talud vs. Volumen de tierra a ser movido [12]

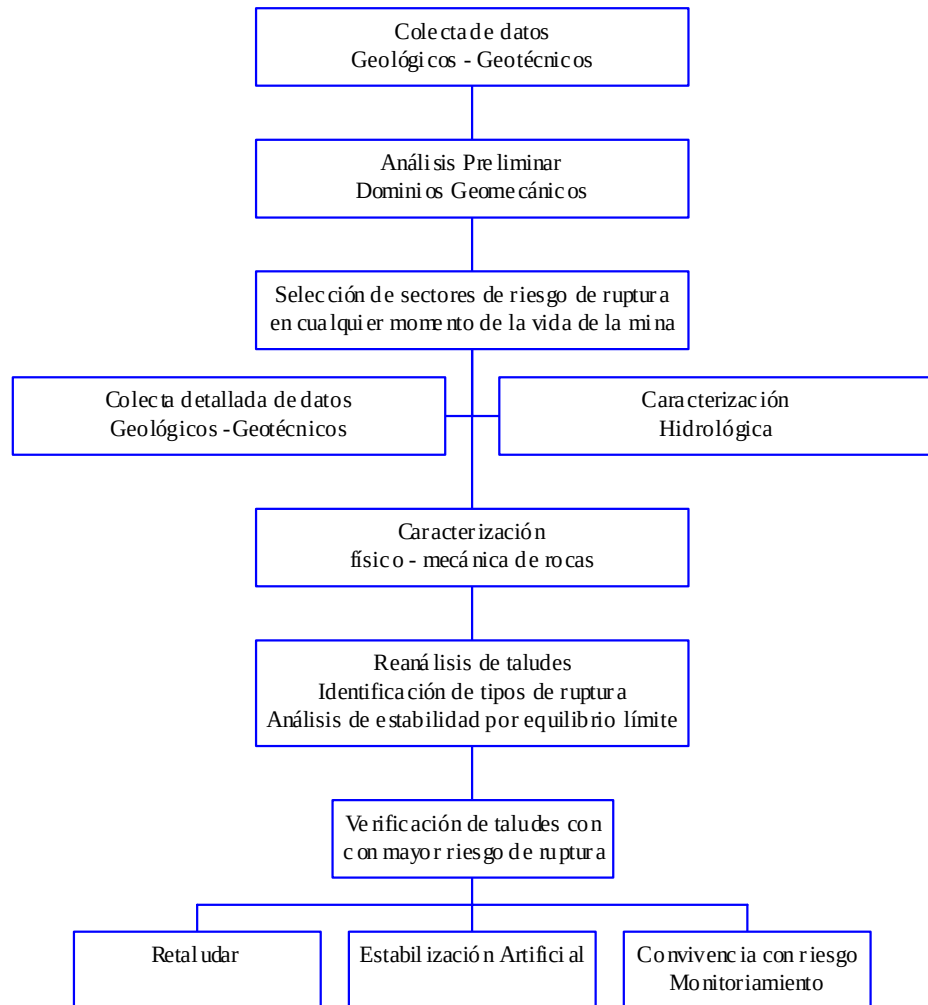
El valor $F=1$ señala el límite en el cual un talud “es o no” estable, utilizar valores mayores que 1 (uno) sirve para estabilizar el talud, y se debe a:

variabilidad de las propiedades de los materiales presentes, características estructurales adversas, variabilidad de las presiones de agua, etc.

El factor de seguridad también va a depender del tiempo que va a permanecer el talud en pie.

2.6 Análisis de Estabilidad de Taludes [3]

2.6.1 Esquema del Análisis de taludes



2.6.2 Métodos de Análisis de Estabilidad de taludes

Métodos empíricos

Modelos físicos

Análisis por equilibrio límite

Análisis por métodos numéricos

Análisis por métodos probabilísticos

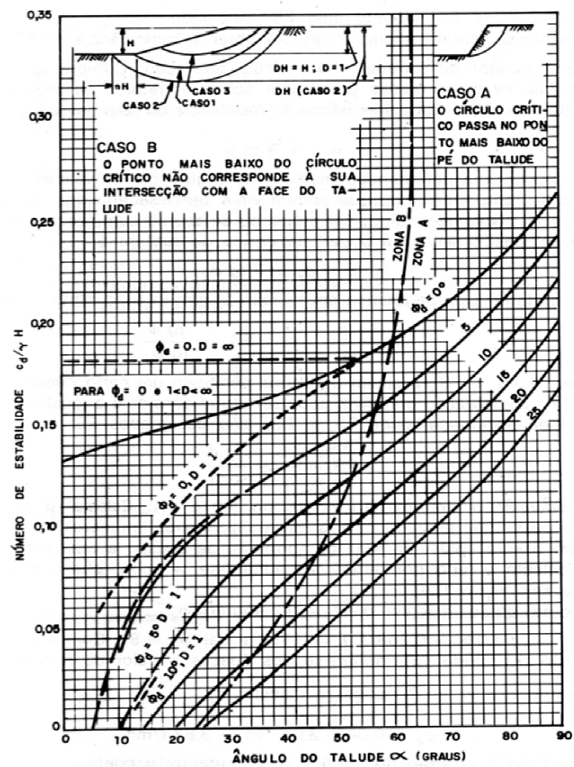


Fig. 2.3 - Métodos empíricos

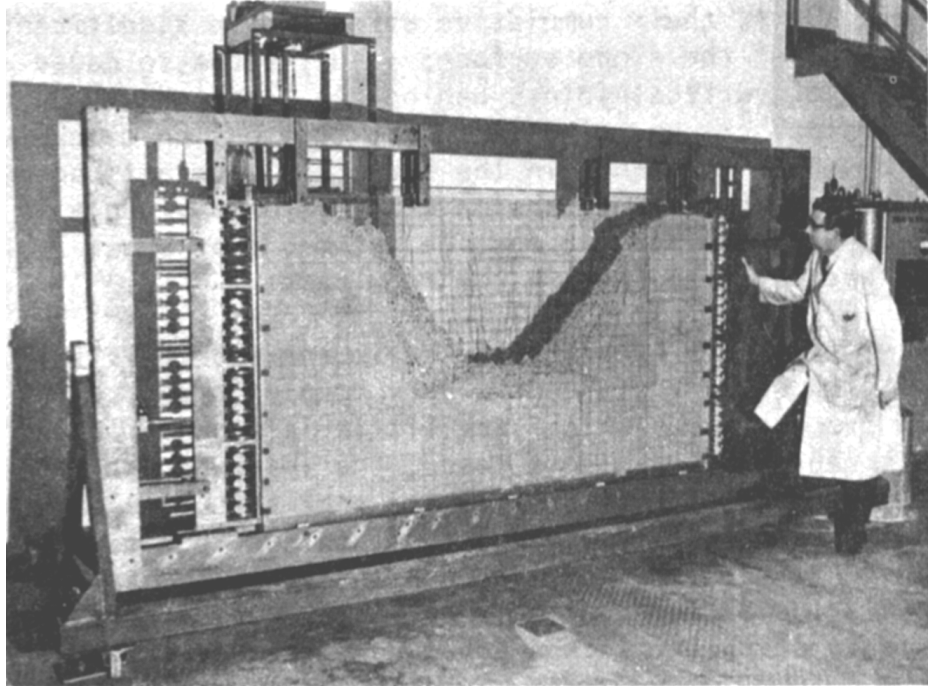


Fig. 2.4 - Modelos físicos

Equilibrio límite

Aplicación simple con resultados confiables

Asume bloques rígidos

Número de variables mayor que el número de ecuaciones, lo que significa que, hay
necesidad de adoptar simplificaciones

Factor de seguridad es el mismo en todas las fatias

Análisis por métodos numéricos

Clasificación	Continuo	Integral	
		Diferencial	Elementos finitos
			Diferencias finitas
		Híbrido	
	Discontinuo	Elementos distintos	

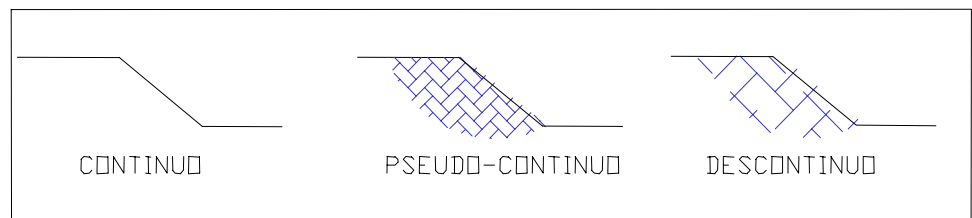


Fig. 2.4 – Clasificación de los métodos numéricos

Características:

condiciones de contorno no descritas por ecuaciones simples

ley constructiva no linear

domínios no homogéneos

geometría y geología complejas

flujo de agua subterránea

procesos dinámicos

problemas tridimensionales

dificultad en caracterizar los macizos

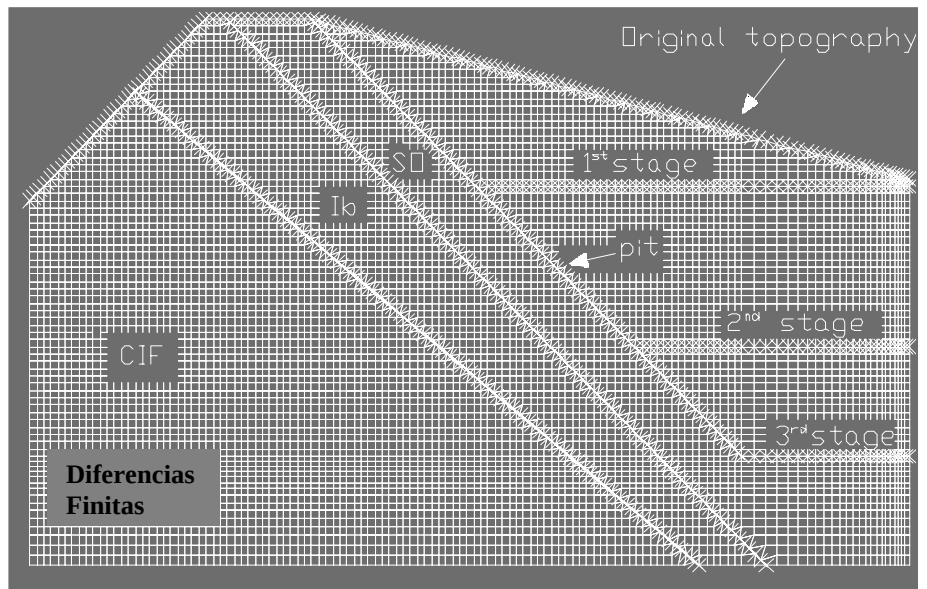


Fig 2.5 - Método de las Diferencias Finitas

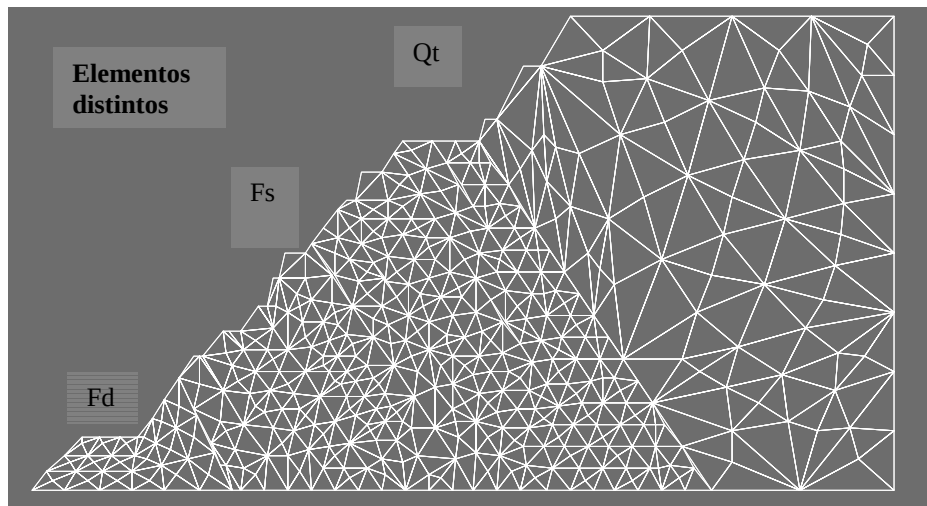


Fig 2.6 – Metodo de Elementos Distintos

Otras Fórmulas y métodos

Cuña gráfica

Sueco (Fellenius)

Bishop

Janbu

Equilibrio de fuerzas

Spencer

Morgensten y Price

Sarma

GLE

Análisis tridimensionales

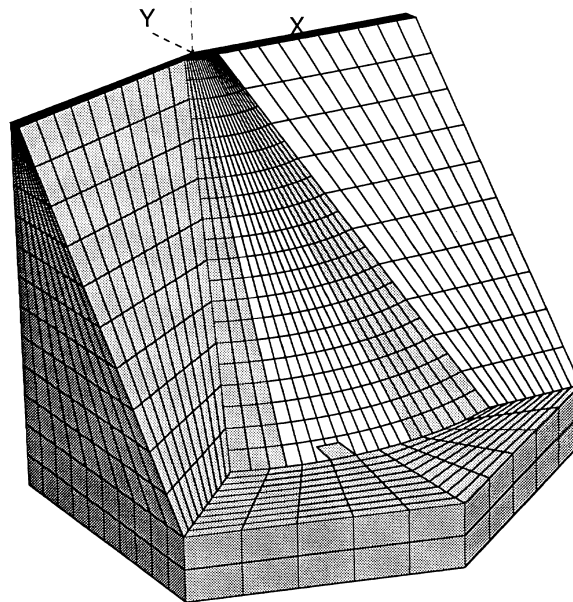


Fig 2.7 Método Tridimensional

2.7 Factores que Condicionan la Estabilidad del Talud [6]

2.7.1 Niveles de Tensión

Tensión virgen

Son las tensiones propias del terreno

tensión gravitacional (peso de la roca)

tensión tectónica

tensión causada por glaciación

tensiones residuales

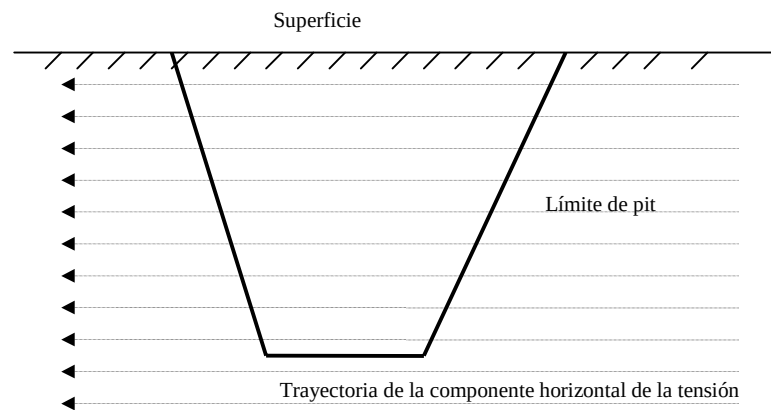


Fig. 2.8 - Tensión Virgen

Tensiones inducidas

Son las tensiones que aparecen al haber algún cambio en el terreno; en este caso son las tensiones producidas por la excavación.

Al aparecer otro tipo de tensiones o variar las tensiones naturales se produce un desequilibrio en la roca, la cual intenta recuperar su equilibrio, provocando movimiento del macizo.

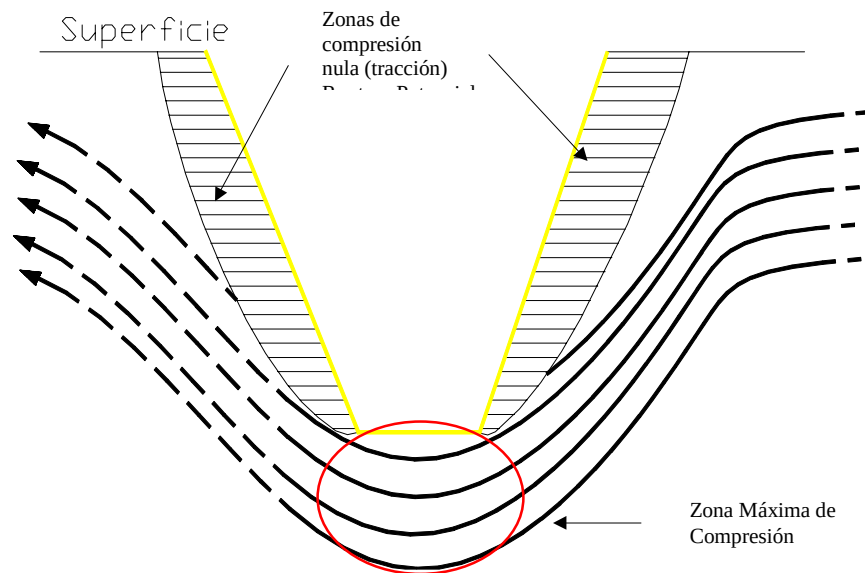


Fig. 2.9 – Tensiones Inducidas

2.7.2 Estructura Geológica [3]

Es uno de los factores de mayor importancia en el control de la estabilidad de los macizos rocosos; debido a que las rupturas ocurren a lo largo de un plano o combinación de planos.

Es por lo tanto muy importante:

- la caracterización de los dominios estructurales (mapeamiento geotécnico), y
- el tratamiento estadístico de las estructuras geológicas (proyecciones estereográficas).

2.7.2.1 El Mapeamiento geotécnico

debe poseer varios itens:

litología

estructuras (tipo)

rumbo y buzamiento

espaciamiento

persistencia

condición de la estructura (planaridad, rugosidad, relleno, agua, etc.).

2.7.2.2 Proyección estereográfica [3]

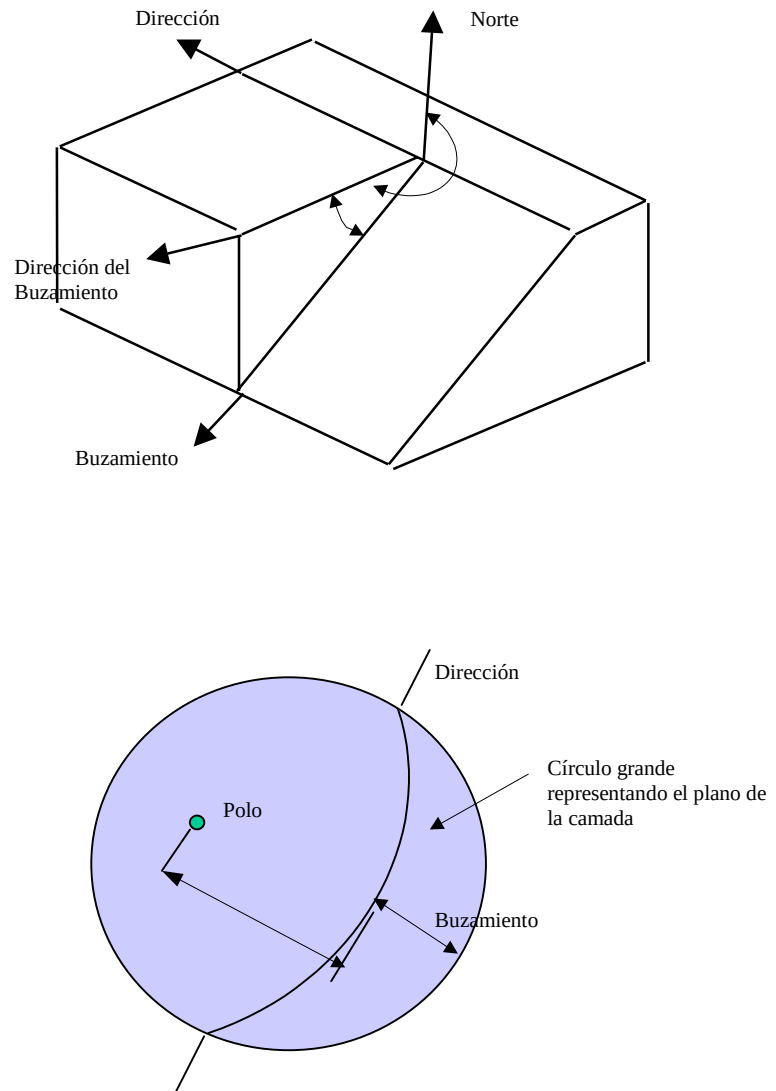


Fig. 2.10 – Proyección estereográfica

2.7.3 Clasificación de los macizos rocosos [5]

2.7.3.1 Objetivos de las clasificaciones geomecánicas

Identificar los parámetros más importantes en el control de los comportamientos de los macizos.

División de los macizos en regiones de comportamiento similar.

Comparación entre macizos de diferentes regiones.

Fornecer datos cuantitativos y cualitativos para elaboración de proyectos de soporte.

Establecer una base común de clasificación.

Para permitir la individualización y delimitación de horizontes de macizo relativamente homogéneos, cuanto a las características geológico-geotécnicas de resistencias y deformabilidad, la MBR adopta la clasificación de Bieniawski (1989) en sus trabajos.

A través de la correlación “RMR” de esta clasificación, se torno posible estimar las características de resistencia (Hoek & Brown, 1988) y de deformabilidad de (Serafim & Pereira, 1983) de los macizos rocosos.

De acuerdo con la faja adoptada de RMR propuesta por Bieniawski (1989) y los valores verificados para los macizos de la mina, fueron admitidas las siguientes clases:

Tabla 2.1 - Clases de Macizo

Clase	I	II	III		IV	V
			b	a		
RMR	100 – 80	80 – 60	60 – 50	50 - 40	40 – 30	----
Descripción	Muy bueno	Bueno	Regular		Pobre	Suelo cohesivo rígido a duro

Nota: RMR estimado para condiciones secas

La presencia de agua debe ser tomada en cuenta por las tensiones efectivas en el análisis, Hoek & Brown (1988)

2.7.3.2 Parámetros comunes de las clasificaciones

Resistencia del material intacto

RQD – Rock Quality Designation

Espaciamiento y orientación de las discontinuidades

Condición de las discontinuidades

Agua subterránea

2.7.3.3 Principales sistemas de clasificación [3]

Resistencia de los macizos rocosos

- La resistencia de los macizos rocosos es función de la resistencia del material intacto y de las discontinuidades que lo componen.

- El material intacto es normalmente caracterizado a través de ensayos de laboratorio, o utilizándose criterios de resistencia (Hoek & Brown)
- Para la caracterización de las discontinuidades es necesario aplicar un criterio de resistencia al cizallamiento.

Resistencia al cizallamiento de superficies planares

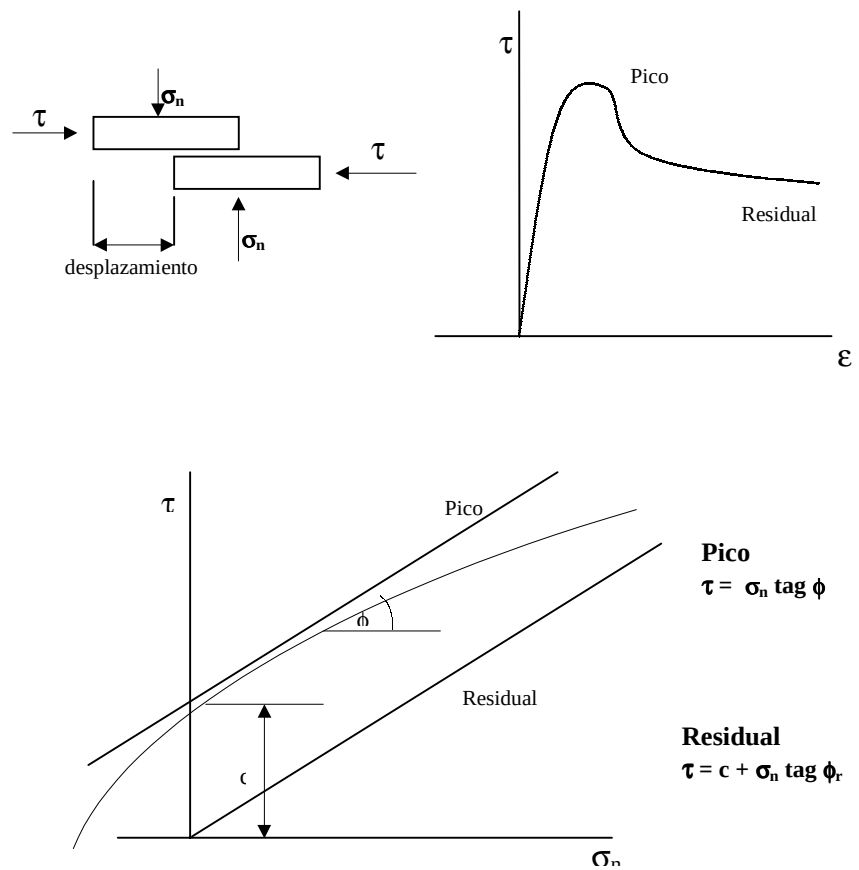


Fig. 2.11 - Resistencia al cizallamiento de superficies planares

Resistencia al cizallamiento de superficies rugosas

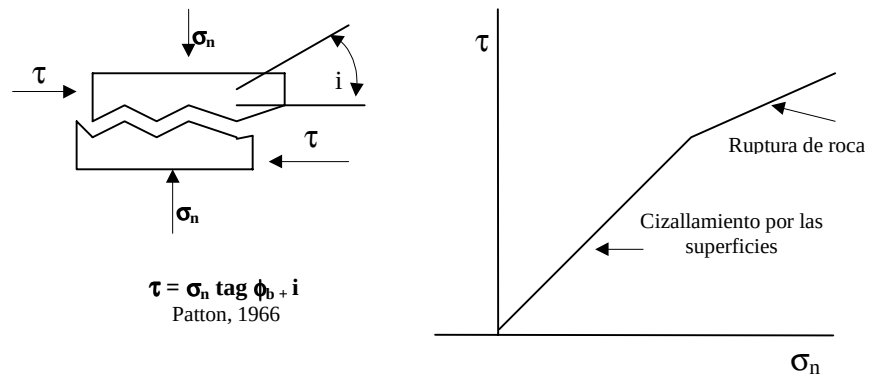


Fig. 2.12 - Resistencia al cizallamiento de superficies rugosas

Criterio de resistencia de juntas

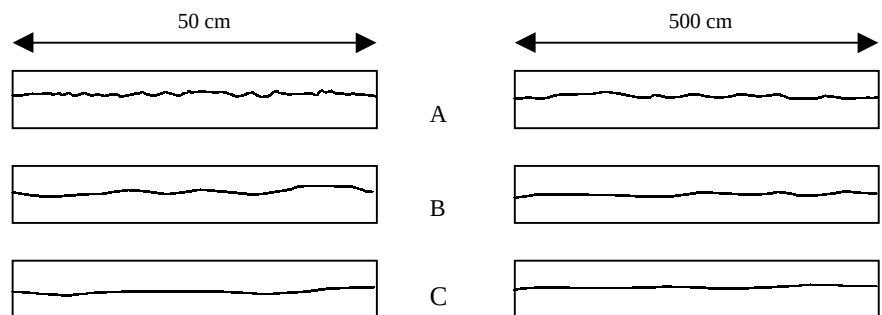
Barton et al (1973, 1976, 1977, 1990)

$$\tau = \sigma_n \tan [\theta_b + JRC \log_{10} (JCS/\sigma_n)]$$

JRC – coeficiente de rugosidad de juntas, obtenido a través de comparación con perfiles padrones

JCS – resistencia a la compresión de las paredes de las juntas, obtenido usando Schmidt Hammer

Barton's definition of Joint Roughness Coefficient JRC



A Rough undulating - tension joints, rough sheeting, rough bedding JRC = 20

B Smooth undulating - smooth sheeting, non-planar foliation, undulating bedding JRC = 10

C Smooth nearly planar - planar shear joints, planar foliation, planar bedding JRC = 5

Fig. 2.13 – Ejemplos de JRC

Criterio de ruptura de Hoek & Brown

1980 – criterio de ruptura para roca intacta

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c (m_i \sigma'_3 / \sigma_c + 1)^{1/2}$$

σ'_1 y σ'_3 – tensiones en la ruptura

σ_c – resistencia a la compresión uniaxial

m_i – constante para roca intacta

1988 - criterio de ruptura de macizos fracturados

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c (m_b \sigma'_3 / \sigma_c)^a$$

m_b y a – constantes para roca fracturada

1992 – criterio modificado de ruptura de macizos

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c (m_b \sigma'_3 / \sigma_c + s)^a$$

s – constante que depende de las características del macizo

Aplicabilidad del criterio de Hoek-Brown

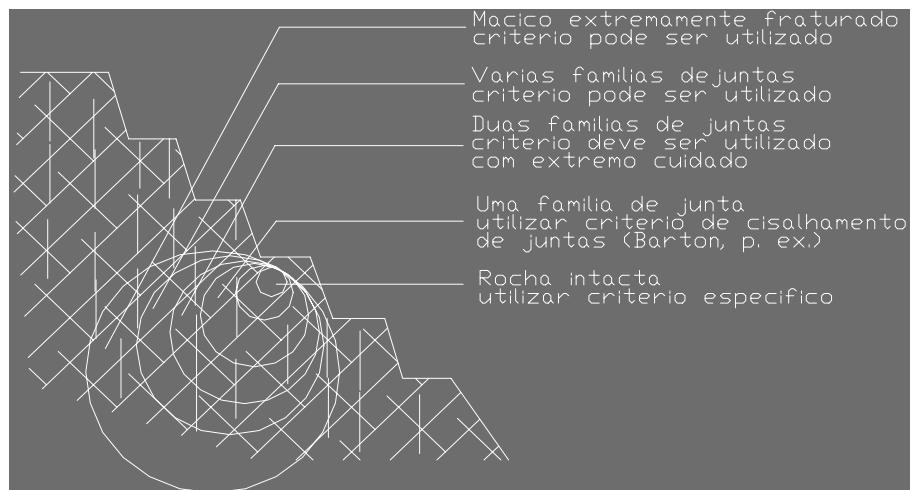


Fig. 2.14 - Aplicabilidad del criterio de Hoek-Brown

2.7.4 Parámetros Geomecánicos [4]

2.7.4.1 Clasificación de los materiales

La descripción geotécnica en los trabajos de la MBR está basada en conceptos y simbologías de la “ISRM – Suggested Methods”, que fueron asociados, ajustados y complementados a los de la “ABGE – Associação Brasileira de Geología de Engenharia”. Tablas

Grado de consistencia (resistencia/coherencia)

Apreciación táctil-visual de las características de resistencias al impacto, raspón, compresión uniaxial y trabajabilidad. (ver tabla 2.2)

RQD – Rock Quality Designation

Se considera la sumatoria de los fragmentos mayores a 10 cm, no siendo considerados los trechos constituidos por macizo completamente alterado (grado – C) . (ver tabla 2.3)

Grado de alteración

Características macroscópicas (ver tabla 2.4)

Grado de fracturamiento

Ponderado de acuerdo con el espaciamiento medio entre fracturas en las foliaciones y juntas.

Foliación, considerada fractura cuando se presenta abierta y separando porciones de masa rocosa, presenta superficies oxidadas, alteradas y con exfoliación, con o sin relleno, y límite entre bandas composiciones con grados de alteración y resistencia/coherencia distintos. (ver tabla 2.5)

Condiciones de las fracturas

Se adoptan los parámetros y características de Bieniawski (1989)

Apreciadas según la persistencia, abertura, rugosidad, alteración de las paredes y relleno.

El relleno aquí considerado, no proviene de cargamentos de finos para fracturas abiertas, sino de la alteración “in situ” de niveles conminuidos por desplazamiento en régimen dúctil- rúptil. (ver tabla 2.6)

2.7.4.2 Ensayos de caracterización física [3]

Resistencia a compresión uniaxial, MPa

Ensayo de cizallamiento directo, MPa

Ensayo de compresión triaxial, MPa

Otros

Peso específico real (g/cm^3) - δ

Proctor normal

δ vs. humedad (%) $\rightarrow$ se obtiene humedad óptima y δ seco máx.

Adensamiento

Absorción (%)

Porosidad (%)

2.7.5 Influencia del Agua [11]

2.7.5.1 Características

Reducción de la estabilidad a través de la reducción de la resistencia al cizallamiento.

Desenvolvimiento de presiones neutras adversas.

Posibilidad de licuefacción.

Problemas operacionales.

Aumento de costos.

Congelamiento, peso de agua congelada en las fisuras.

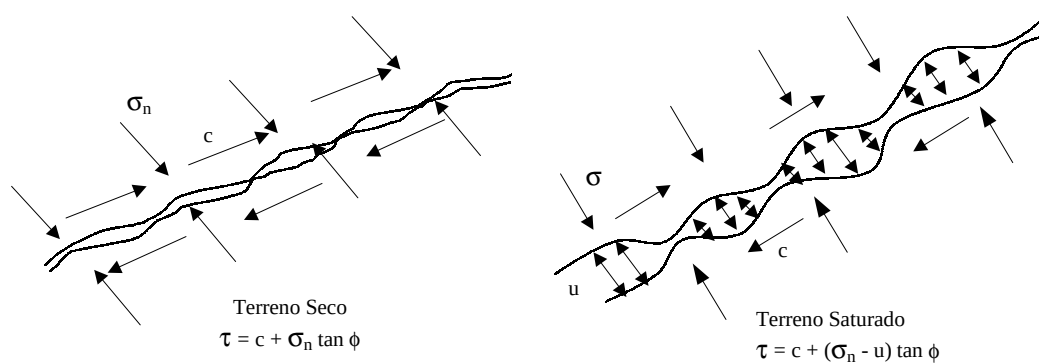


Fig. 2.15 - Esquema de fuerzas sin y con la presión del agua

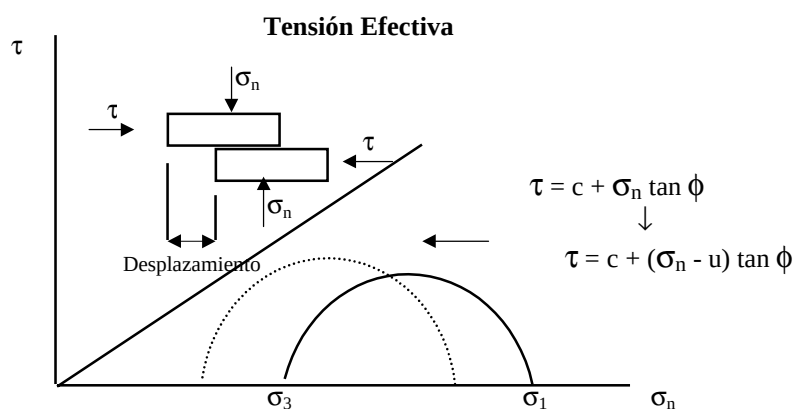


Fig. 2.16 – Tensión efectiva

Para evitar estos problemas se debe conocer límites del acuífero y realizar bombeamientos por pozos para rebajar el nivel freático, pero cuando se trata de macizo encajante puede no dar resultado.

Los principales condicionantes hidrológicos en las minas de la MBR están asociados a las camadas de Metachert.

Las probables rocas básicas o filito dolomítico funcionan como barreras hidráulicas, confinando el nivel freático, debido a que el filito tiene baja permeabilidad.

Las rupturas por tombamiento son en su mayoría inducidas por presiones hidroestáticas del nivel freático confinado.

Para el monitoreo de los trabajos de rebajamiento del nivel freático en el mineral, se debe implantar una red de piezómetros, dispuestos principalmente en el mineral (un solo piezómetro no es suficiente).

A nivel preliminar, a través de ensayos de infiltración de furos rasos, se estima la permeabilidad del filito dolomítico, filito dolomítico cuarcitoso, filito sericítico.

Otros furos fueron ejecutados con equipamientos rotopercutivos, siendo realizados los ensayos en medio saturado, correspondiendo al nivel freático natural del macizo.

Tabla 2.7.- Ejemplos de permeabilidad del macizo [4]

Coeficiente de permeabilidad k (cm/s)	Material
6×10^{-6}	Filita dolomítica
3×10^{-6}	Filita dolomítica cuarcitosa
3×10^{-7}	Filita serecítica
7×10^{-3} a 2×10^{-2}	Cuarcita

La región del flujo de agua se representa por flujos de líneas de igual potencial.

El potencial es un importante parámetro en el flujo de agua. Este es definido como la elevación de un punto dado de la presión expresada en el peso de agua.

El flujo de agua se mueve de alto a bajo potencial, fluye a lo largo de líneas equipotenciales.

2.7.5.2 Drenaje [6]

Escoger el método de drenaje depende de muchos factores incluyendo la altura del talud, permeabilidad, economía y recursos operacionales.

Principales métodos de drenaje

- a) perforaciones horizontales o casi- horizontales en la cara del talud, son simples y relativamente fáciles de drenar;
requieren pequeño mantenimiento y drenan por gravedad
- b) perforaciones verticales preferiblemente atrás de la cresta del talud.
se requiere de bombas, con su correspondiente mantenimiento y costos

- c) trincheras abajo o a lo largo del talud son necesarios mas solo drenan superficialmente
- d) galerías excavadas en la masa de roca atrás del talud, son muy costosas pero cuando es a gran escala y se las requiere es el método más efectivo; pueden ser usadas para mapeamiento estructural, y para adicionar perforaciones dentro del talud si fuese necesario

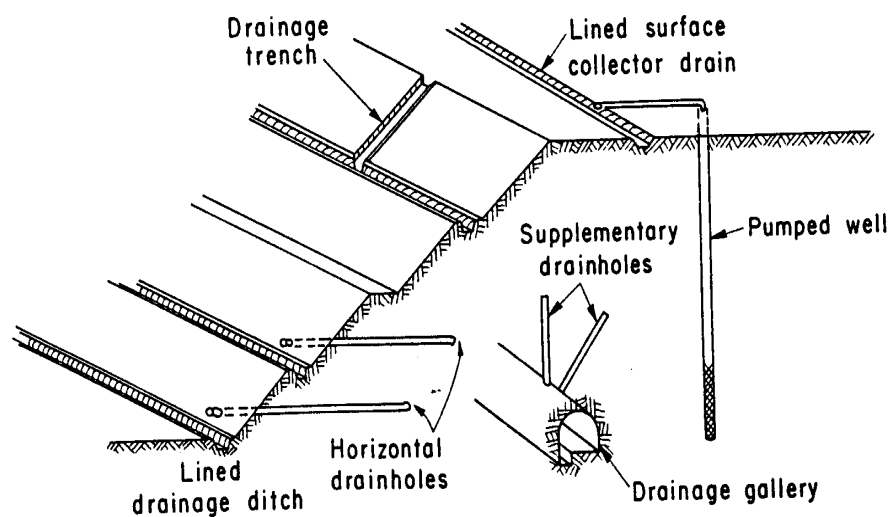


Fig. 2.18 – Tipos de Drenajes en una mina

2.7.6 Mecanismos Básicos de Rupturas [7]

2.7.6.1 Características

Barton encontró que las tensiones de ruptura son generadas como resultado de pequeños momentos de fuerzas actuando en la masa de roca. A través de otros pequeños movimientos muy pequeños, se va teniendo una acumulación, hasta tener una significativa fuerza para causar el movimiento y desplazamiento de la superficie del talud.

Son cuatro los mecanismos básicos de ruptura

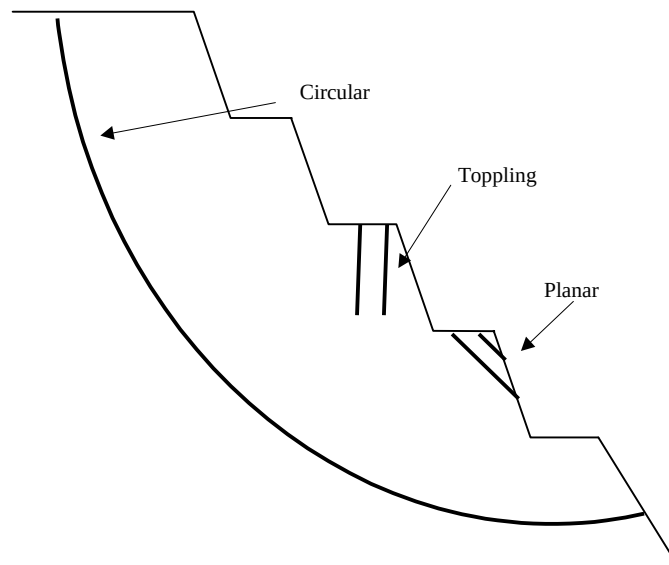


Fig. 2.19 – Tipos de rupturas representados en un talud

2.7.6.2 Ruptura Planar

Es aquella en la que el deslizamiento ocurre a través de una única superficie plana.

Es la más sencilla de las formas de ruptura y tiene lugar cuando existe una fractura dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud.

Frecuentemente se trata de fallas que interceptan al talud. También puede producirse en macizos donde existen intercalaciones de estratos de poco espesor de material poco resistente.

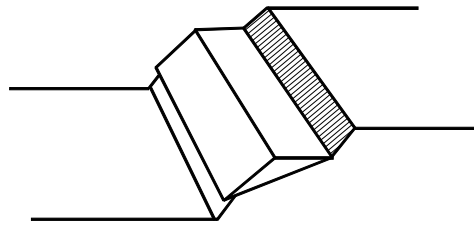


Fig. 2.20 Ruptura Planar

Una de las más notadas en las minas de la MBR;

en el filito debido a sus características de formar pastillas, en el cuarcito, y en el mineral por sus características de formación en capas debido a la lixiviación.

Condiciones geométricas necesarias para desenvolvimiento de rupturas planares:

- el plano en el cual ocurrirá el deslizamiento deberá ocurrir teniendo una dirección paralela o casi paralela ($\pm 20^\circ$) a la cara del talud
- el buzamiento de este plano debe ser menor que el del talud ($i > \beta$)

- el buzamiento de este plano debe ser mayor que el del ángulo de atrito del material del talud (la presencia de agua puede eliminar esta necesidad) ($\beta > \phi$)
- superficies de separación que provoquen el desconfinamiento lateral deben estar presentes

$$i > \beta > \phi$$

Considerando un talud como el gráfico siguiente

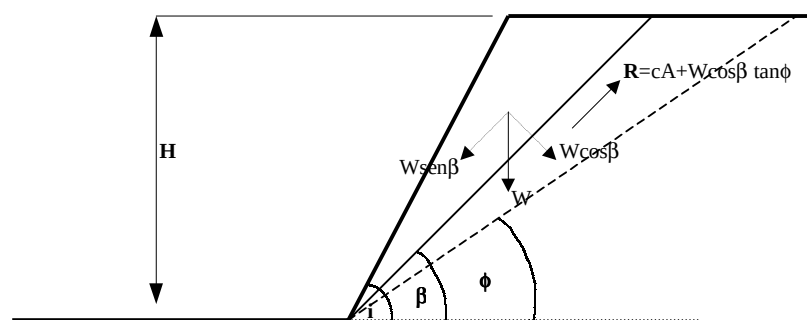


Fig. 2.21 – Fuerzas que actúan en una ruptura planar

el factor de seguridad vendrá dado por:

$$F = [(c \times A) + (W \times \cos \beta - U) \times \tan \phi_a] / (W \times \sin \beta) - V$$

Conforme la altura del talud aumenta la contribución relativa de la cohesión a la resistencia total disminuye.

Para taludes muy altos, el ángulo de talud estable se aproxima al ángulo de rozamiento ϕ .

Hoek (1970) relacionó la función altura Y con la función de ángulo de talud X, para rotura planas en taludes drenados.

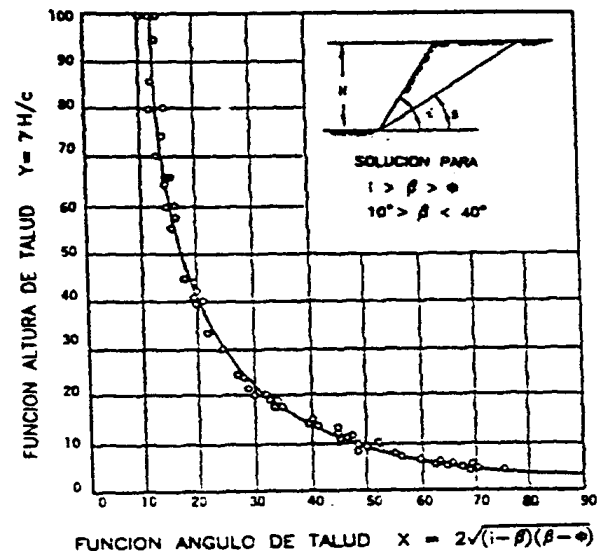


Fig. 2.22 - Relación entre altura del talud y función del ángulo del talud [12]

$$Y = (\gamma \times H) / c$$

$$X = 2 \times [(i - \beta) \times (\beta - \phi)]^{1/2}$$



Foto 2.3 – Ruptura planar

2.7.6.3 Ruptura en cuña

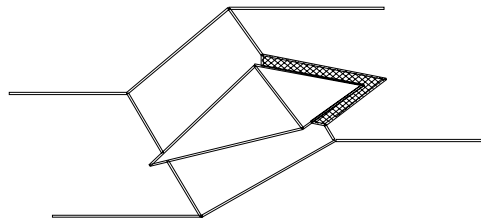


Fig. 2.23 - Ruptura en cuña

Condiciones de ocurrencia

- Combinación de dos planos estructurales con los planos de cara y crista del talud; deslizamiento ocurre :
 - a lo largo de la línea de intersección - xx
 - a lo largo de uno de los planos
- Buzamiento de la línea de intersección menor que el del talud

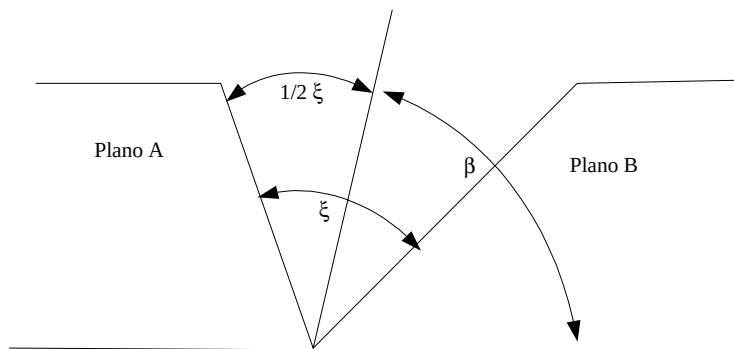


Fig. 2.24 - Vista frontal de fuerzas en ruptura de cuña [6]

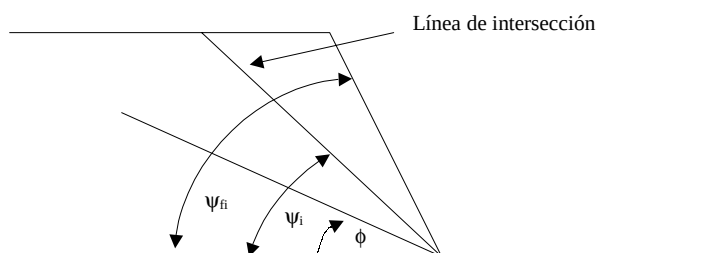


Fig. 2.25 - Vista lateral de fuerzas en rupturas de cuña [6]

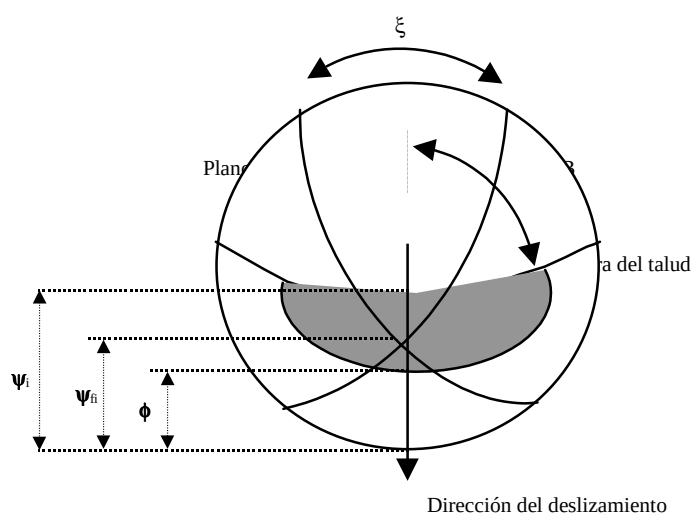


Fig. 2.26 - Fuerzas representadas en proyección estereográfica [8]

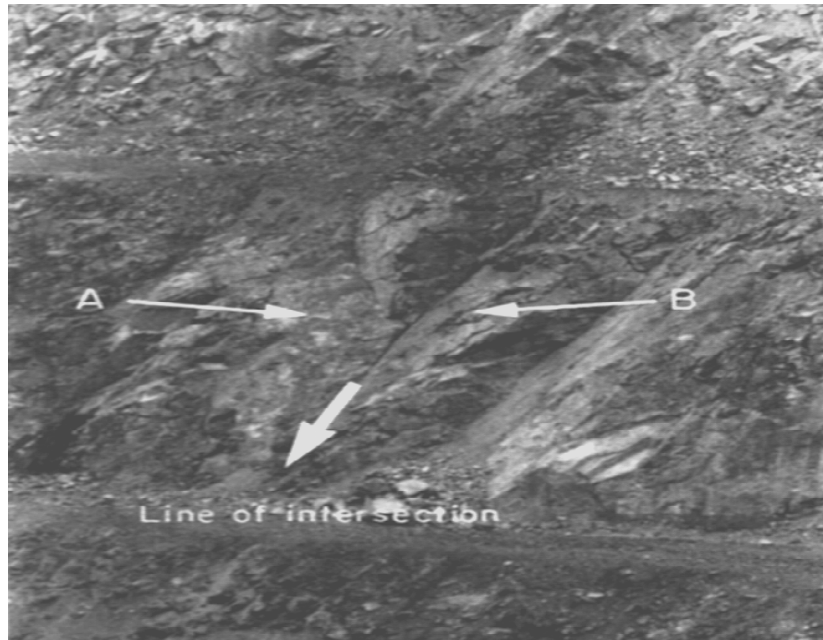


Foto 2.1 – Ruptura de Cuña

2.7.6.4 Ruptura circular [3]

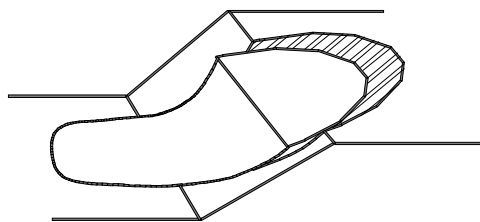


Fig. 2.27 – Ruptura circular

Es aquella en la que la superficie de deslizamiento es asimilable a una superficie cilíndrica cuya sección transversal se asemeja a un sector circular.

Se suele producir en terrenos homogéneos, ya sean suelos o rocas altamente fracturadas no cementadas, sin direcciones predominantes de fracturación, en los que debe cumplirse la condición de que las partículas de suelo o roca tengan un tamaño muy pequeño en comparación con las del talud.

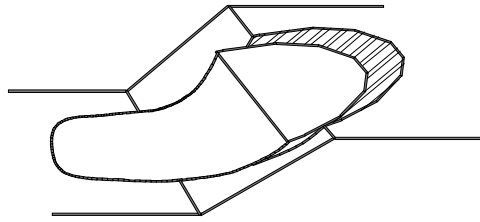


Fig. 2.27 – Ruptura circular

Es aquella en la que la superficie de deslizamiento es asimilable a una superficie cilíndrica cuya sección transversal se asemeja a un sector circular.

Se suele producir en terrenos homogéneos, ya sean suelos o rocas altamente fracturadas no cementadas, sin direcciones predominantes de fracturación, en los que debe cumplirse la condición de que las partículas de suelo o roca tengan un tamaño muy pequeño en comparación con las del talud.

Hoek y Bray (1977) proponen un conjunto de ábacos con los que es posible efectuar una primera estimación del Factor de Seguridad



Foto 2.2 – Ruptura Circular

2.7.6.3 Ruptura por Toppling

Se produce cuando hay una rotación de columnas o bloques de rocas que conforman el talud.

Condiciones geométricas necesarias:

- estructura buzando para el talud con ángulos fuertes
- espaciamiento entre las camadas pequeño a medio

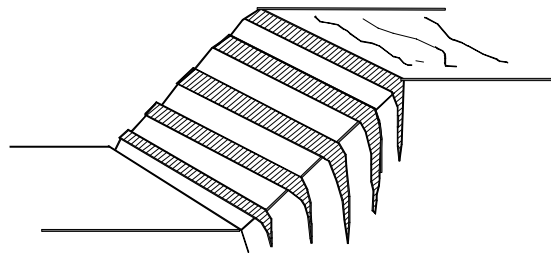


Fig. 2.28 - Ruptura por tombamiento

Tipos de toppling

Flexural

Asociado a queda de bloques

Asociado a otro tipo de ruptura

Block-flexure

Secundarios

En las minas de la MBR, se produce especialmente en ciertos filitos donde el aumento del nivel freático propicia disgregación del filito como pequeñas placas que caen continuamente.

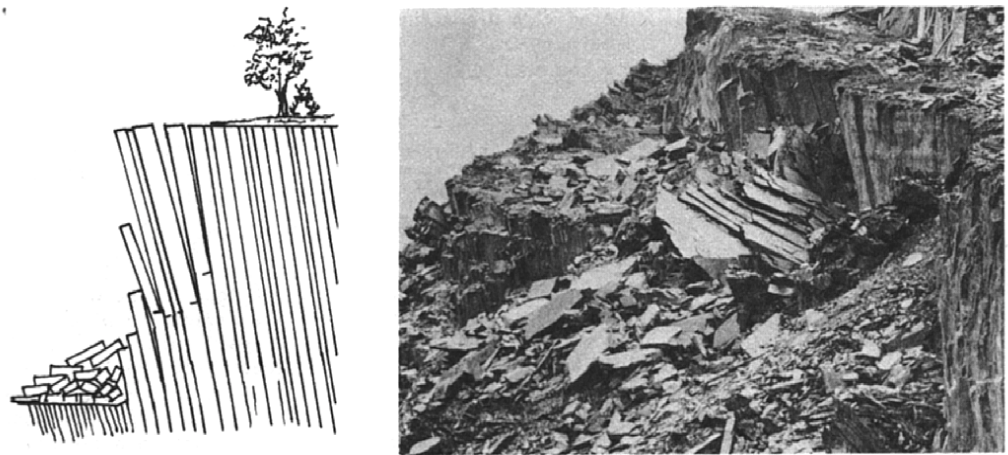


Fig. 2.29 – Toppling Flexural

Cuando la exfoliación tiene un buzamiento hacia el interior del macizo ocurre una mayor desarticulación de los bloques.

mayor desarticulación de los bloques.



Fig. 2.30 – Toppling por caídas de bloques

2.8 Caso Práctico

El uso de todos los parámetros que se ha revisado, con lleva al uso de una metodología que se puede adoptar en cualquier empresa minera, sin depender del mineral que se explote, ya que es la base del proceso del diseño del talud.

A continuación sigue un conjunto de tablas y gráficos de la Mina de Aguas Claras – MAC, explicando mejor la aplicación de los parámetros, en la cual se muestra algo de resultados de laboratorio, resultados de análisis de estabilidad, gráficos procedentes de programas que ayudan en el trabajo dando velocidad y exactitud, y la mina con sus respectivos ángulos de taludes.

Tabla 2.8 - PARAMETROS DE CLASIFICACION
Bieniawski (1989)

ITEM	PARAMETROS			Faja de Valores - RMR					
1	Resistencia a la compresión simple MPa.			R6	R5	R4	R3	R2	R1
				>250	250 – 100	100 - 50	50 – 20	20 – 5	5 – 1
	RMR			15	12	7	4	2	1
2	RQD			Q5	Q4	Q3	Q2	Q1	
				100 – 90	90 – 75	75 – 50	50 – 25	< 25	
	RMR			20	17	13	8	3	
3	Fracturamiento			F1	F2	F3	F4	F5	F6
				> 2 m	2 – 0,6 m	0,6 – 0,2 m	20 – 6 cm	6 – 2 cm	< 2 cm
	RMR			20	15	10	8	5	5
4	Condiciones de las Fracturas	A	Persistencia	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m	
			RMR	6	4	2	1	0	
		B	Abertura	Cerrada	< 0,1 mm	0,1 – 1,0 mm	1 – 5 mm	> 5mm	
			RMR	6	5	4	1	0	
		C	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Poco rugosa	Lisa	Espelhada	
			RMR	6	5	3	1	0	
		D	Relleno	Duro			Suave		
				Ninguno	< 5 mm	> 5 mm	< 5mm	> 5 mm	
			RMR	6	4	2	2	0	
		E	Alteración de pared	Sana (F, R4, R5)	Poco alterada (S, R3)	Moderadamente (M, R2)	Muy alterada (H, R1)	Descompuesta (C, R0)	
RMR	6		5	3	1	0			
5	Agua			Seco					
	RMR			15					
	Observaciones			Influencia de agua tomada en consideración en la estimativa de las tensiones efectivas en los análisis de estabilidad					
6	Orientación de las Fracturas			Considerada en la estimativa de los mecanismos de ruptura Peso 0 (cero), donde el criterio de Hoek & Brown (1988) es considerado valido para su aplicación					

Tablas 2.9 - INDICES FISICOS

LITOTIPO	ALTERACION	MASA ESPECIFICA		ABSORCION %	POROSIDAD %
		NATURAL	SECA		
Grupo Nova Lima Equisto-Clorito (Xt)	S	2.246	2.282	7.15	16.23
	M	2.119	2.126	9.98	21.20
Formación Moeda Cuarcito (Qt)	F	2.65	2.847	0.19	0.5
	S	2.509	2.485	2.6	6.35
Formación Batatal Filito Sericítico (FS)	F	2.802	2.714	.55	1.53
	S	2.609	2.558	2.93	7.45
	M	2.268	2.285	7.7	17.19
Unidad Transicional Filito Dolomítico (Fd)	F	2.268	2.645	1.96	4.94
	S (oscuro)	2.268	1.916	13.38	25.34
	S (claro)	2.324	2.313	6.11	14.13

Tabla 2.10 - TABLA DE RESISTENCIAS

LITOTIPO	ALTERACION	COMPRESION SIMPLE (Mpa)		COMPRESION PUNTIFORME	TRACCION (MPa)
		Paralela	Oblícu		
Grupo Nova Lima Equisto-Clorito (Xt)	S	-	21.8	-	2.2
	M	7..3	6.6	-	-
Formación Moeda Cuarcito (Qt)	F	-	234	-	16.0
	S	-	20.8	37.40	2.4
Formación Batatal Filito Sericítico (FS)	F	-	21.0	-	5.5
	S	-	-	13.0	2.8
	M	14.0	7.7	-	-
Unidad Transicional Filito Dolomítico (Fd)	F	-	53.0	-	6.8
	S	-	10.0	24.0	2..2

Tabla 2.11 - ROCA INTACTA – CARACTERISTICAS DE RESISTENCIA

LITOTIPO	OBLICUA			PARALELA		
	PLANO DE RUPTURA OBLICUO A FOLIACION 45°			PLANO DE RUPTURA DE LA FOLIACION		
	C' (Mpa)	Ø'	mi	C' (Mpa)	Ø'	mi
Xt	1.00	47	10	0.4	52	8
Fs	0.62	54	10	0.36	52	4

Tabla 2.12 - DOLOMITO FERRUGINOSO ALTERADO (Ia), FACTORES DE SEGURIDAD

SECTOR	SECCION	α	RUPTURA			
			CIRCULAR		PLANO CIRCULAR	
			Drenado	Saturado	Drenado	Saturado
CUMBRE 1	1	37	1.88	1.44	1.60	1.43
	4	42	1.58	1.21	1.29	1.16
	6	42	1.88	1.35	1.50	1.32
	7	42	1.59	1.23	1.25	1.12
	8	45	1.65	1.25	1.30	1.19
7	S + 600	45	1.37	1.09	1.31	1.21
		50	1.7	1.22	1.23	1.11
8	9	35	1.3	1.20	1.28	1.10
LÍMITE 7/8	S + 500	37	1.3	1.13	-	-

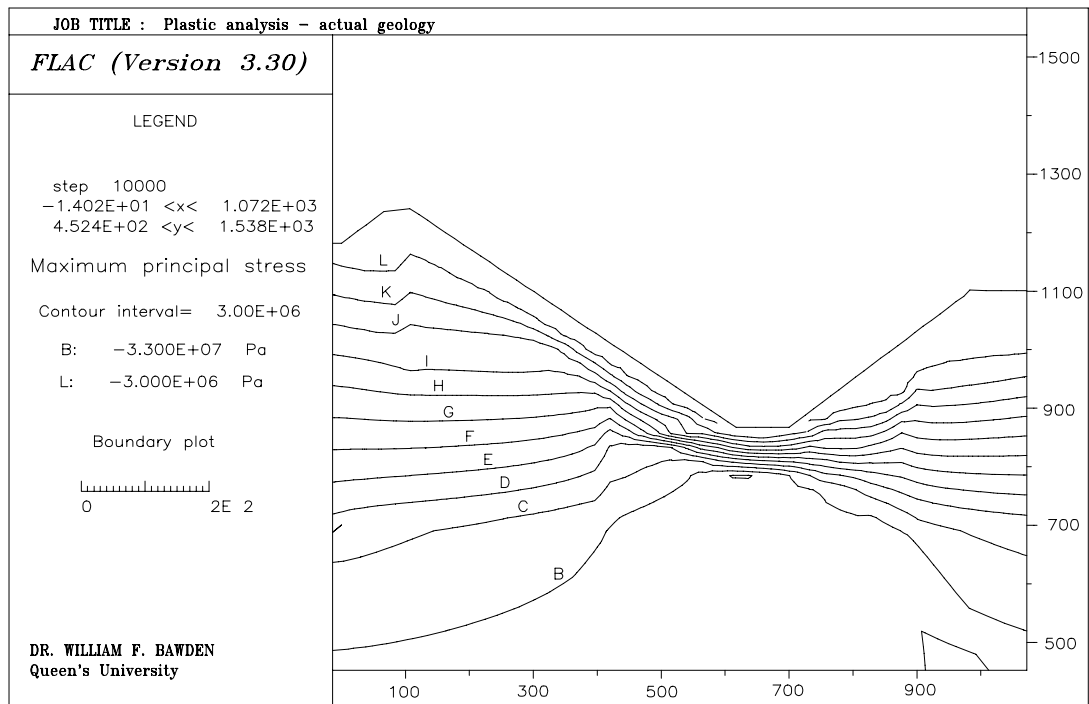


Fig. 2.31 – Pit Final MAC - Niveles de Tensión

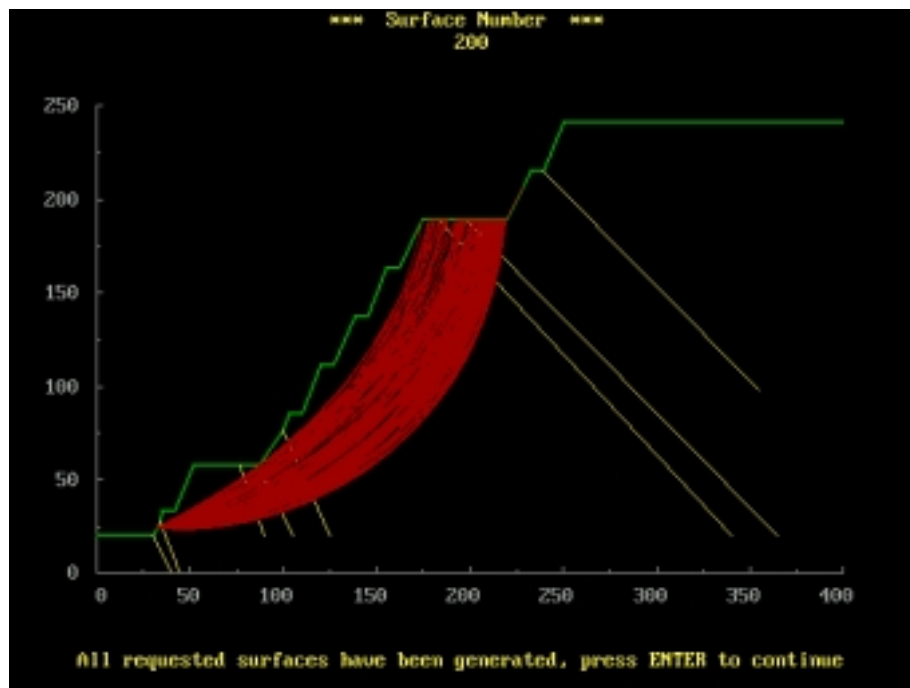


Fig. 2.32 – Cálculos de tipos de rupturas por el programa Xstabl - Bishop

Factores Geomecánicos Principales Mecanismos de Ruptura en MAC

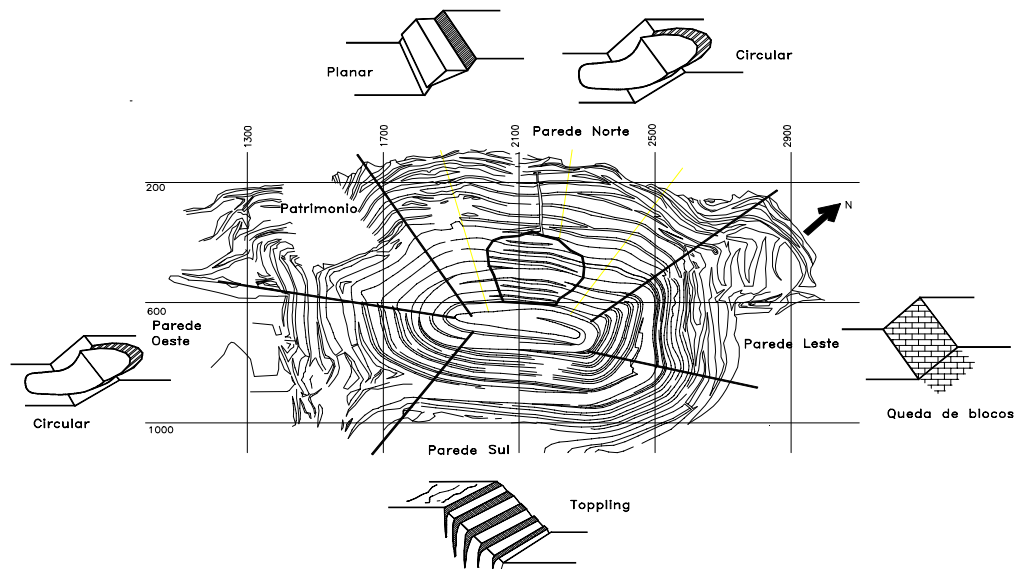


Fig. 2.33 – Factores Geomecánicos – Principales tipos de ruptura de la Mina de Aguas Claras



Foto 2.4 – Mina de Aguas Claras – Angulos Generales de los taludes

CAPITULO III

CONTROL EN EL USO DE EXPLOSIVOS

3.1 Objetivo

El objetivo es tener un control de las vibraciones en las detonaciones para evitar molestias a la vecindad y no perjudicar la estabilidad del talud.

Dicho control se lo lleva con lecturas de sismógrafos, y los cálculos respectivos que se realizan en el campo.

3.2 Características Generales [13]

Dentro de una explotación minera, la perforación y voladura ocupa un lugar destacado , no solo por su peso dentro del coste de operación, sino incluso por su influencia directa en los rendimientos y costes de las otras etapas del ciclo: carga, transporte y trituración.

Los efectos de las vibraciones pueden clasificarse en:

- molestias a las personas próximas a la voladura
- daños estructurales y arquitectónicos en las edificaciones
- inestabilidades en los macizos rocosos

Se pueden clasificar los explosivos en dos grandes grupos: [14]

- explosivo deflagrante, (queman) como la pólvora negra
- explosivo detonante, (instantáneos) como la dinamita

Para trabajo de desmonte de roca se utiliza explosivo del tipo detonante.

Son llamados altos explosivos, se descomponen por detonación, de forma rápida y violenta

Se las emplea según sus propiedades, como: [15]

fuerza – energía del explosivo

densidad

sensibilidad – medida del poder de propagación tanto con respecto a una carga en

columna en un barreno, como entre cargas de barrenos separados

velocidad – rapidez con que la onda de detonación se propaga a través de una columna

de explosivo

resistencia al agua

producción de gases – gases no tóxicos: CO_2 , N, H_2O_4

gases tóxicos : CO, ON...

Según la granulometría que requiera la planta será uno de los factores para el diseño de la voladura, también hay que tomar en cuenta el cargamento y transporte.

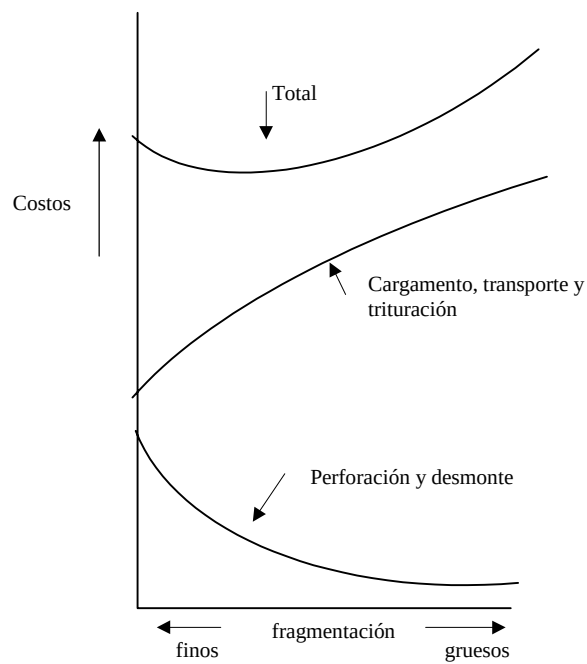


Fig. 3.1 *fragmentación vs estabilidad*

3.3 Elementos de una voladura [13]

- Tipo, peso y distribución de explosivos (razón de cargamento)
- Diámetro del barreno - d
- Acoplamiento
- Afastamiento (Burden) – A_p - A_r
- Espaciamiento (Spacing) - E
- Altura del banco - H

- Profundidad de sobre perforación - s
- Inclinación de barreno - i
- Taponamiento - T
- Iniciación de la secuencia de detonación
- Retardos entre los barreno y filas
- Geología

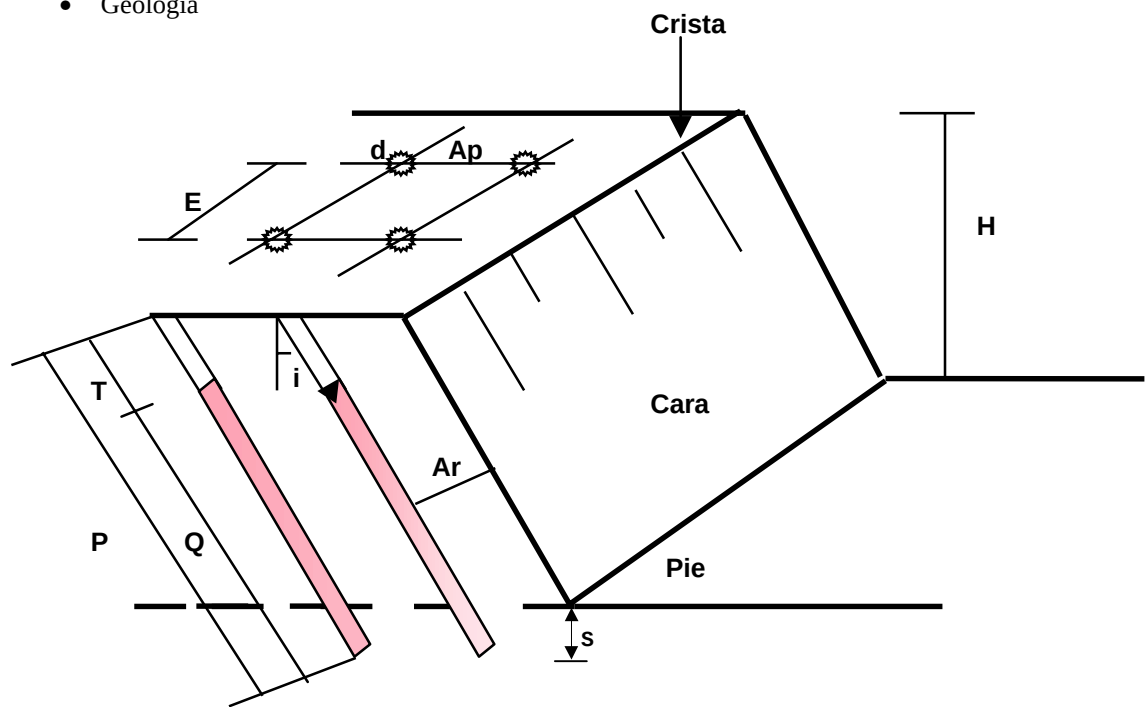


Fig. 3.2 - Elementos en una voladura

- **Tipo**

La energía de un explosivo es la medida de trabajo hecho por cierto peso o volumen de explosivo.

El volumen o capacidad de fuerza está relacionada a la energía del peso por la gravedad específica siendo esto importante para calcular el volumen que debe contener un barreno, dada la energía de un explosivo.

Los explosivos que generen presiones de barrenos mas bajas provocarán niveles de vibración inferiores y estos explosivos serán los de baja densidad y baja velocidad de detonación.

Una alta capacidad de energía es obviamente una ventaja ya que requiere menos barreno (o disminución del diámetro), y la cantidad de explosivos en cada uno.

Ejemplo.

Para el ANFO , explosivo granular, aumenta su densidad bajo presión, lo cual ayuda a obtener una mayor capacidad de energía, aumentando su sensibilidad.

La adición de otros componentes como Al(11%), ayudan a obtener mayor cantidad de energía liberada, siendo utilizada cuando los costos de perforación son altos.

Se los clasifica según el uso, para:

- iniciar cargas de explosivos

- forneer o transmitir llama para iniciar una explosión

- propagar una onda explosiva

Encendedores - estopim de seguridad

- velocidad uniforme - $v \approx 110 \text{ m/s}$

Detonadores - espoletas simples

- iniciadas por estopim

- espoleta eléctrica

Cordel detonante – $v \approx 6000 \text{ m/s}$ - 10 gr. x m

Anfo - $v \approx 3500 \text{ m/s}$

Reforzadores - Boosters

- altos explosivos

Sistema no eléctrico - 10 mg x m

- **Diámetro**

Un mayor diámetro (de 4 ½ " a 9"):

Altura de perforación ≥ 9 m

Disminuye costos de perforación

Aumenta el afastamiento y baja la eficiencia, sabiendo que teóricamente el afastamiento =

40 veces el diámetro, lo que con lleva a un límite en el diámetro con el cual se va a

trabajar $d \leq (\text{bench height}/40)$

Aumenta presión de explosivos: flyrock

air blast

fracturamiento de la roca que queda

Menor diámetro:

Altura de perforación ≤ 9 m

Mayor control de la voladura

- **Acoplamiento**

Es la capacidad que tiene el explosivo a llenar todo el barreno.

Va a depender de su densidad y/o si está encartuchado.

- **Afastamiento**

Distancia entre las filas de barrenos, tomando en consideración la cara del talud

Al detonar

- la onda de tensión de compresión longitudinal es expulsada hacia afuera de roca

- una tensión tangencial crea las fallas radiales que se extienden hasta una distancia de 4

veces el diámetro la tensión de compresión actúa en la cara libre y refleja una onda de

tensión dentro de la masa de roca

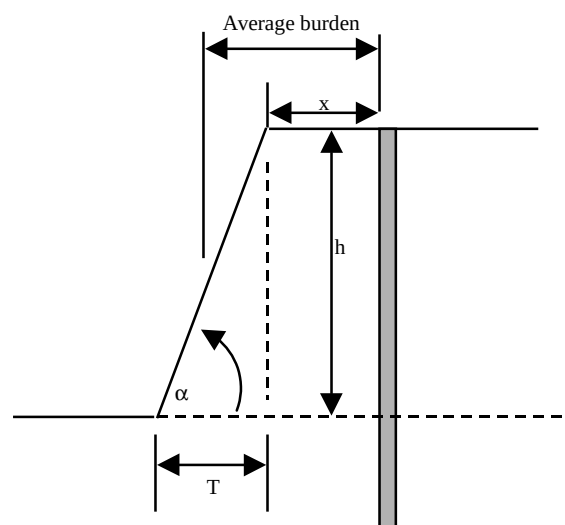
Pequeño afastamiento libera tensiones radiales, esto implica que disminuye la eficiencia y aumenta fly rock

Grandes afastamientos pueden obstruir la detonación con problemas de pobre fracturamiento es decir baja eficiencia

Afastamiento máximo (m) = diámetro del barreno (plg.)

Afastamiento normal (m) = $(0.8 - 0.6) \times$ diámetro del barreno.

El efectivo afastamiento B_e y el espaciamiento S_e dependen del modelo de barrenos y de la secuencia de la detonación.



$$\text{Average front row burden} = x + \frac{1}{2} h \cot \alpha$$

Fig. 3.3 – características en afastamientos

- **Espaciamiento**

Distancia entre barrenos de la misma fila

Interesa saber si el gas puede penetrar la roca adyacente y provocar el fracturamiento

Normalmente $Se \approx 1,25 Be$

Si la distancia entre barrenos es muy grande y la roca es muy dura, los gases producidos encuentran dificultades para fragmentar y desplazar la roca, estos gases se verán confinados durante mayor tiempo, y la energía de explosión acumulada al reducir el movimiento de la roca, genera un incremento considerable de los niveles de vibración del terreno.

- **Altura del banco**

Alturas pequeñas ayudan:

disminuir problemas de vibración y onda aérea

menor variación en la dirección de los barrenos

menor riesgo de proyecciones

mayor control en fragmentación

Alturas grandes:

mayor producción

incremento de diámetro

- **Sub perforación**

Es la perforación bajo el pie del talud.

Si esta fragmentación es pobre aumenta el tiempo de operación.

Si es excesiva produce daños a la roca y disminuye la estabilidad; daños a la nueva cresta.

Teóricamente la sobre perforación es igual a (0.2 o 0.3) veces la distancia entre dos barrenos próximos.

Y debe quedar con una inclinación de 15 a 25 grados máximo.

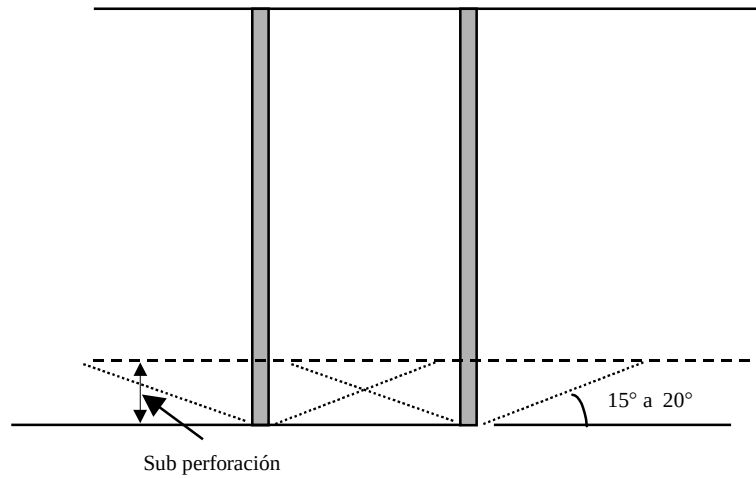


Fig. 3.4 - Sub-perforación - características

- **Inclinación**

De 10 a 30 grados aumenta la fragmentación

Aumenta desplazamiento

Disminuye problemas de back-break

- **Taponamiento**

Sirve para confinar el explosivo dentro de la masa de roca

Pequeños

Aumenta explosión de gases lo cual genera problemas de flyrock y airblast.

Disminuye fragmentación.

Grandes

Disminuye fragmentación en la parte superior

La altura depende de las características de la roca y del tipo de trabajo a realizar

(producción o acabamiento)

Teórico = 0.67 a 2 veces Be

$$= (\text{afastamiento})^{0.7}$$

- **Iniciación**

Va a depender de donde esta la roca menos confinada (cara libre del talud), tomando en cuenta retardos a utilizar y geología predominante de la roca)

Cuidado con la deflagración; en la cual, la descomposición es mayor que la combustión ($v \approx 1000 \text{ m/s}$), como sucede al utilizar cordel detonante y ANFO

- **Retardos**

Aumentan la eficiencia de la detonación al liberar poco a poco la roca permitiendo actuar a los gases y ayudando al desplazamiento de la masa de roca.

Disminuye la vibración y ruido al evitar la superposición de ondas generadas por la detonación

El nivel de vibración depende de la carga de peso por retardo, ($< 15 \text{ ms} \Rightarrow \text{vibración}$)

A mayor cantidad de retardos aumenta la fragmentación

- **Geología**

Se debe tomar en cuenta, frecuencia y orientación de foliación, fallas, tensiones dinámicas de la roca, entre otros factores.

Si la tensión a compresión de la roca es excedida se produce backbreak.

La tensión dinámica de compresión es igual a presión del explosivo que no produce crushing en la pared del barreno.

Normalmente en roca suave la onda alcanza valores mas elevados y dura menos tiempo su acción.

3.4 Mecanismo Básico de detonación [13]

Las alteraciones principales que originan las voladuras son:

vibraciones, onda aérea y proyección de roca

Cuando un explosivo detona dentro de un barreno, se produce una liberación súbita de energía que se propaga radialmente en todas las direcciones.

La propagación depende de la presión de explosión que genera la carga y de la existencia de fisuras en el macizo y de otras propiedades de la roca.

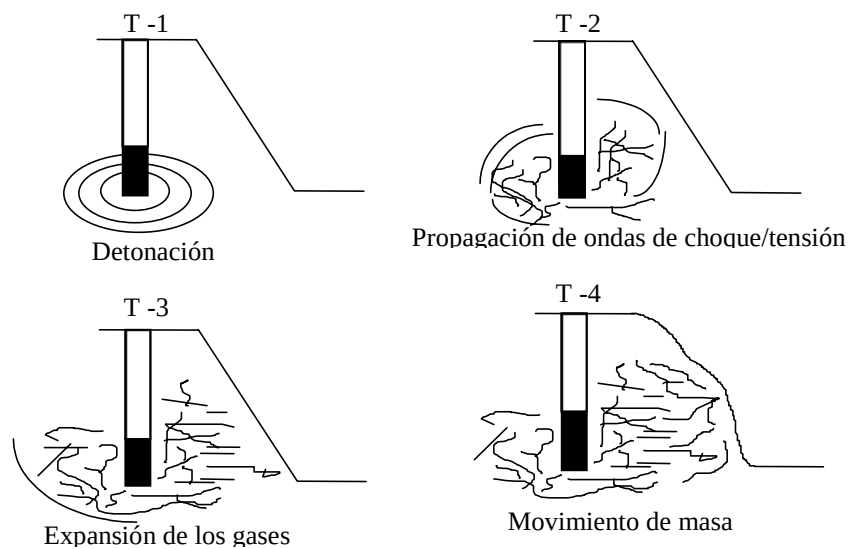


Fig. 3.5 - Mecanismo Básico de Detonación [3]

La fragmentación de la roca por un explosivo incluye:

la generación de una onda de tensión por la presión del barreno, la extensión y apertura de las grietas por la penetración de gases a alta presión y la liberación y aceleración de la masa rocosa fragmentada a una determinada velocidad.

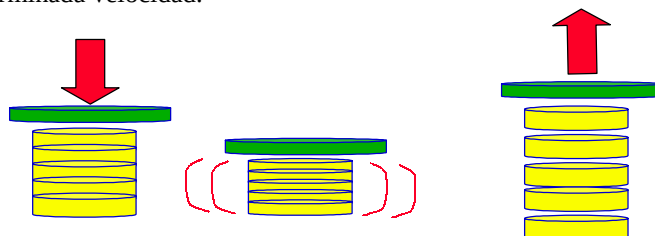


Fig. 3.6 - Acción del movimiento de la masa
Compresión - Tracción

3.5 Normas y Límites [20]

La utilización de metodología específica para desmonte de roca con uso de explosivos, principalmente en áreas urbanas, debe llevar en consideración la protección y seguridad de las poblaciones vecinas.

Las normas técnicas de la ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 9653, establecieron parámetros mínimos que deben ser observados, entre los principales están:

- la velocidad resultante de la vibración de partículas, en locales cercanos o en el área de la operación de la mina, debe ser limitada a 15 mm/s, cuando no hubiera un estudio detallado de la frecuencia de vibración.
- el nivel de presión sonora proveniente del “soplo del aire” de la detonación debe ser limitado a 100 Pa (134 dBL)
- cuando no fuese posible una medición de la velocidad de vibración de las partículas, se debe mantener una distancia escalonada (DE) mayor o igual a 40.

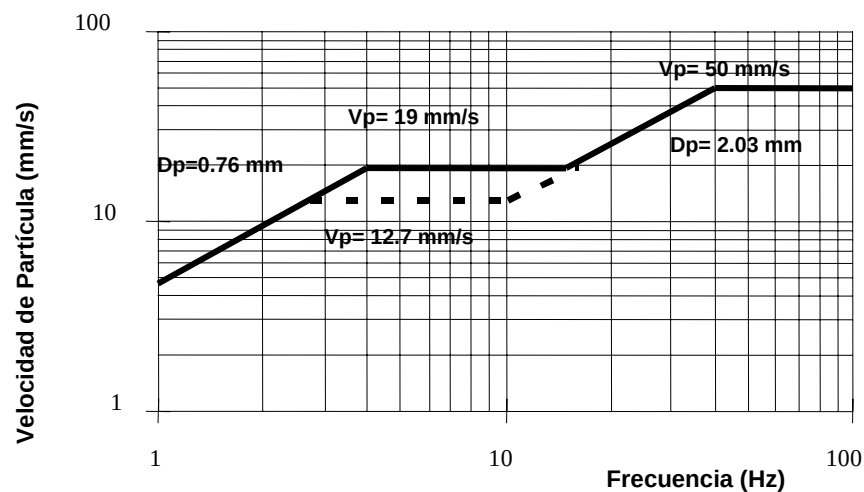


Fig. 3.7 – Velocidad de partícula vs. frecuencia
Límites permitidos

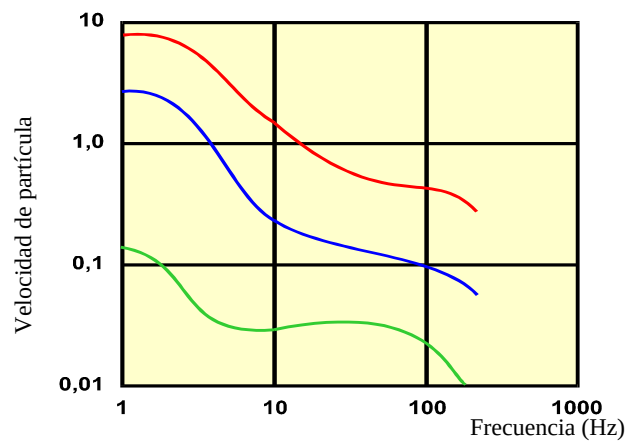


Fig. 3.8 – Velocidad vs frecuencia
Curvas de grados de molestias

3.6 Ondas [13]

Para el control de las detonaciones uno de los parámetros a ser medidos es la velocidad de la partícula tanto en el terreno como en el aire, los cuales se efectúan con sismógrafos de marca Instatel Inc; MiniMate Plus III , Blast Mate III y DS-377 pertenecientes a la MBR.

3.6.1 Características

Los parámetros básicos que intervienen en el estudio de las ondas sísmicas son:

la velocidad de la partícula

velocidad de propagación de las ondas longitudinales

las tensiones inducidas

la disipación y dispersión

frecuencia y longitud de onda

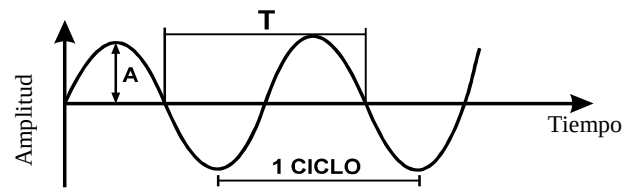


Fig. 3.9 – Elementos de una Onda

velocidad de propagación $v = x / t$

frecuencia $f = \# \text{ ciclos} / t \text{ (Hz)}$

velocidad de la partícula $v_p = \Sigma \text{ desplazamientos} / t$

longitud de onda $\lambda = \text{distancia} / f$

$T = \text{velocidad de la partícula} / \text{velocidad de propagación}$

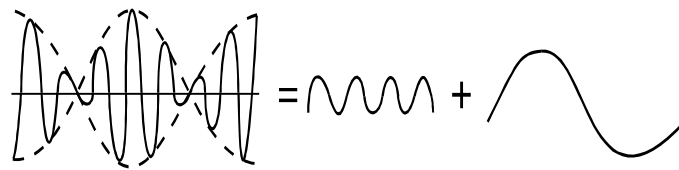


Fig. 3.10 - Superposición de ondas

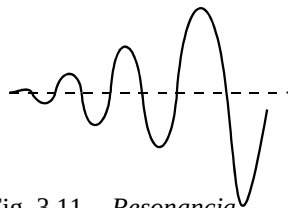


Fig. 3.11 - Resonancia

3.6.2 Vibraciones por el terreno

3.6.2.1 Clasificación de las ondas

Las ondas sísmicas se clasifican en ondas internas y superficiales.

Ondas internas:

Se propagan en el interior del macizo rocoso

Se dividen en: ondas de compresión (P)

ondas de cizallamiento (S)

La deformación de la roca puede ocurrir por un cambio en el volumen debido a la onda de compresión o por un cambio de forma debido a la onda de cizallamiento

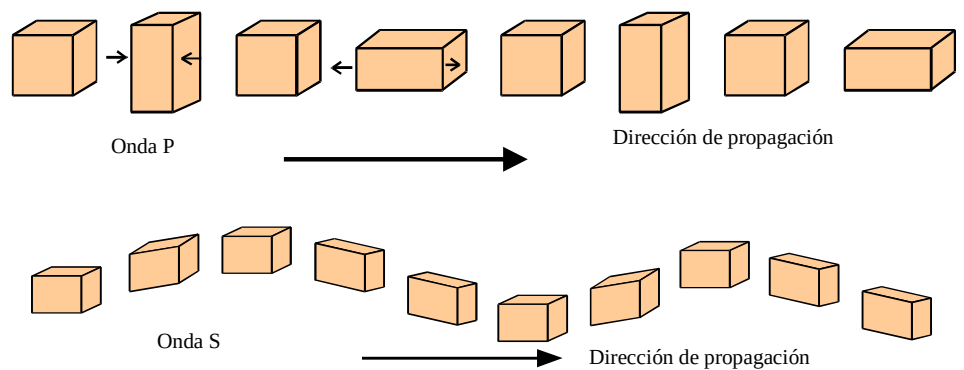
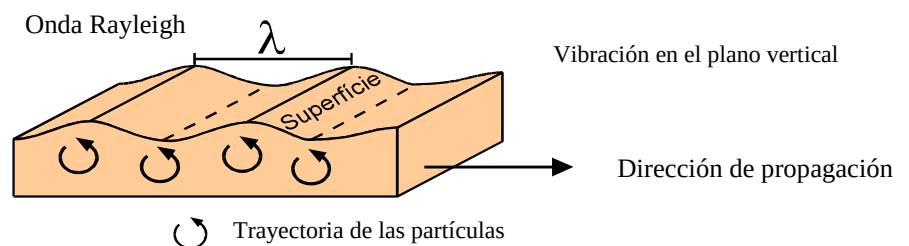


Fig. 3.12 – Ondas de compresión

Ondas superficiales:

Afectan a un espesor de la roca aproximadamente igual a la longitud de onda

Se caracteriza por tener frecuencias bajas



Onda Love

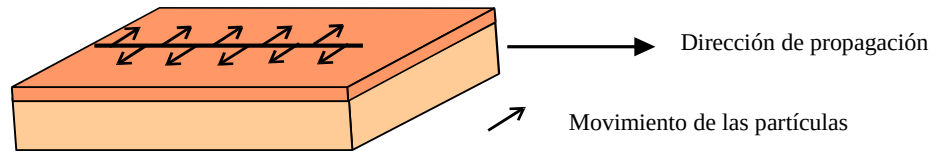


Fig. 3.13 – Ondas Superficiales

Todas las ondas sísmicas presentan una disipación o disminución de la amplitud del desplazamiento con la distancia y las internas presentan incluso una dispersión en las que las componentes de alta frecuencia viajan más rápido que las de baja frecuencia.

3.6.2.2 Daños ocasionados por una mala detonación [16]

- **Estructurales debido a vibración**

Depende de la tensión inducida en la roca.

Explosivos cerca de la superficie libre producen dos ondas en el cuerpo y una onda en la superficie como resultado de la respuesta elástica de la roca.

las ondas en el cuerpo son: P primaria

S secundaria

la onda sobre la superficie: es menor que P y S

se denomina Raleigh – R

produce mas daños por las vibraciones, debido a

que se propaga en la superficie, y la amplitud

decae más lentamente

Velocidad de la partícula, da la mejor indicación de probables daños

Si la velocidad es menor a 2 “/seg. (5 cm/seg.) no produce daños

Velocidad, carga por retardo, distancia de detonación son factores para diseñar la detonación; y, con la ayuda de sismógrafos se puede establecer estas relaciones.

Velocidad de la partícula vs distancia ($R/\sqrt{W}$)

donde: R - distancia radial
W - peso del explosivo detonado por retardo

$$V = k (R/\sqrt{W})^B$$

donde k y B son constantes

El control se puede realizar a través de:

utilización de retardos

secuencia de fuego

geometría de malla, la malla cuadrada produce más vibración que la rectangular

tipo de explosivo

tapón

Un factor importante y que no se toma en cuenta es la frecuencia, es esta la que produce los mayores daños.

El rango permitido es de 5 a 25 Hz

Si la frecuencia coincide con la frecuencia natural de una construcción es cuando ocurre resonancia y los consecuentes daños, también hay que cuidarse de frecuencia muy baja

Se elimina este problema con la utilización de retardos mayores

- **Debido a flyrock**

Disminuir en 0.2 la cantidad de explosivo disminuye el fly rock pero también disminuye la fragmentación

Si relacionamos con el tapón, este debe ser 0,67 a 2 veces el afastamiento

- **Daños a los taludes provocados por la vibración excesiva**

Back-break en los taludes finales

fracturamiento de crestas

pérdida de roca en la cara nueva

Desplazamientos diferenciados cuando existen camadas de resistencia diferentes

Prejuicios a la seguridad operacional

Tabla 3.1 – Agentes de la detonación – Efectos [13]

Agentes de detonación	Efecto	
	Principal	Secundario
Ondas de tracción/compresión	Generación de trincas nuevas Aumento de trincas	Vibración por el terreno
Acción de los gases	Aumento de trincas Lanzamiento de roca	Presión acústica Gases ultra lanzamiento

Tabla 3.2 – Daños a roca vs Vp (Bauer)

Vp (cm/s)	Daños a roca (Según Bauer)
≤ 25	Ningún fracturamiento
25 a 64	Desplazamiento por tracción
64 a 250	Fracturamiento por tracción Pocas fracturas radiales
≥ 250	Fragmentación total del macizo

Tabla 3.3 – Tensión de la roca vs Vp

Tensión de la roca σ (kg/cm ²)	Velocidad de la partícula Vp (mm/s)
30	110
90	326
700	2500

Conociendo que la deformación $\epsilon = \sigma/E = V_p/V_s$
donde

E - es el modulo de Young

El rompimiento ocurre si $\sigma >$ resistencia a la tracción

3.6.3 Vibraciones por la atmósfera

3.6.3.1 Características

El sonido, se produce cuando cualquier superficie sólida vibra e imprime a las partículas del medio que la rodea unos desplazamientos que dan lugar a unas ondas de presión, es un tipo de energía que se propaga en el aire como ondas elásticas en todas las direcciones y a una velocidad constante que depende de la temperatura del medio

$$V = 333.6 + 0.6 T (^{\circ}\text{C})$$

El oído humano es más sensible a las frecuencias altas que a las bajas, aunque para ambas se tenga el mismo nivel de presión sonora

La detonación de una carga de explosivo dentro de un barreno desarrolla una alta

presión debido a la expansión de los gases. Una vez que se produce la fracturación de la roca, los gases escapan hacia la atmósfera produciendo una perturbación conocida por onda aérea.

La onda aérea tiene dos componentes:

El ruido, que es la parte del espectro comprendido entre 20 a 20000 Hz y que es percibido por el oído humano, y la vibración restante, que es la parte del espectro comprendido por bajo de 20 Hz y que no es percibido por el oído.

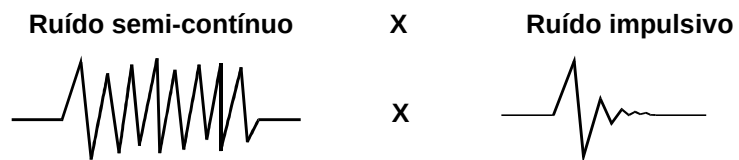


Fig. 3.14 – Tipos de ruido

Aunque la onda aérea normalmente disminuye con la distancia, debido a que las altas frecuencias se atenúan más rápidamente, es posible que a distancia apreciable de la voladura, se produzcan vibraciones con ruido mínimo.

Al trabajar con presión acústica hay que tomar en cuenta:

$$\text{dBL} = 20 \log (P / P_0) \quad \text{donde } P_0 = 20 \mu \text{ Pa}$$

y considerar la escala logarítmica es decir que:

$$120 \text{ dBL} \approx 78.6 \% \text{ mayor que } 115 \text{ dBL}$$

Tabla 3.14 - Tiempo de exposición máximo según la presión sonora registrada [20]

Duración diaria h	Nivel de presión sonora DB
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	110
0.25	115

3.6.3.2 Propagación

Va a depender de varios aspectos atmosféricos:

humedad del aire

temperatura

altitud

dirección e intensidad de los vientos

se puede resumir:

- a mayor altitud y elevada temperatura se va a tener mayor velocidad del sonido
lo que implica mayor ruido
- la acción del viento impide la formación de inversiones
- el sonido es reflejado por capas continuas de nubes
- días favorables a detonación
días claros o parcialmente cubiertos con nubes leves y alta temperatura (mañana o tarde)
días nublados mas cambios rápidos de la dirección del viento

- días desfavorables a la detonación

aire parado (días nublados)

cuando hay inversión de temperatura

días claros con temperatura y vientos constantes

3.6.3.3 Daños debido a airblast y a ruido

Ambos provienen de igual causa

Se debe procurar tener frecuencias de 20 a 30 Hz , < 20 Hz producen daños

Causados por :

sobre carga

pobre tapón

no cubrir el cordel detonante

desarrollo de fracturas en el macizo liberando los gases

inadecuado afastamiento

condiciones atmosféricas

temperatura

viento

presión y altitud

El sonido decrece con la distancia

$$k_R = R / \sqrt[3]{W}$$

donde

k_R – factor de la distancia

R – distancia radial de la explosión

W – peso de la carga detonada

3.7 Técnicas del Acabado del Talud con explosivos [15],[14],[13]

Tiene por objetivo:

- creación de una cara estéticamente perfecta
- preservación del macizo que queda
- protección de estructuras próximas

Para lo cual se utilizan varias técnicas:

- perforación lineal
- pre-fisuramiento
- detonación amortiguada

Perforación Lineal

El primer método que se utilizo en el acabado de talud con explosivos

Consiste en una carrera de barrenos sin carga y pocos separados entre sí en el límite del talud

Se trabaja con :

Diámetro va entre 2" a 3"

Separados 2 a 4 veces el diámetro

Alturas de bancos menores a 9 metros

Mejora los resultados en roca homogénea

Aumenta costos de perforación

Pre- fisuramiento

Similar a perforación lineal, pero se distingue de:

Trabaja con:

Diámetro de 2" a 4"

Los barrenos se cargan (poca carga)

Se detona toda la carrera al mismo tiempo

Los barrenos se perforan más separados

Se detona antes de detonar el resto de la masa de roca

Detonación Amortiguada

Se trabaja con diámetros mayores de 2" a 6"

(se puede llegar a 9½ ")

Se detona después de detonar la masa de roca

(retirar material detonado)

Disminuye costes de perforación

Aumenta el resultado en formaciones no consolidadas

Tabla 3.5 - Características del Acabado del talud con explosivos
Hagan

Barreno Ø (mm)	Prefisuramiento			Detonación amortiguada		
	Cartucho Ø (mm)	RLQ (kg./m)	Espaciamiento (m)	Cartucho Ø (mm)	RLQ (Kg./m)	mallá (m x m)
75	22*	0.45	0.75	22*	0.50	1.15 x 1.55
90	25*	0.65	0.90	25*	0.70	1.35 x 1.80
100	29*	0.80	1.00	29*	0.80	1.50 x 2.00
115	32*	1.10	1.10	32*	1.05	1.70 x 2.20
125	38*	1.30	1.20	38*	1.20	1.80 x 2.40
150	45	1.85	1.45	55	1.70	2.20 x 2.80
200	55*	3.30	1.85	55	2.75	2.80 x 3.70
230	65*	4.50	2.00	55*	3.30	3.30 x 4.20
250	80*	5.30	2.15	80	3.75	3.60 x 4.60
270	80	6.10	2.25	80	4.15	3.90 x 5.00
310	80	7.80	2.40	90	4.80	4.40 x 5.60

* carga de columna continua

RLQ – carga lineal de cargamento



Foto 3.1 – Acabado de un Talud

3.7 Análisis de Daños a los Taludes [13]

Se puede seguir un análisis a partir de las siguientes condiciones:

- Condición de las paredes después de la excavación
 1. ningún ultra-arranque
 2. poco ultra-arranque
 - a. crista
 - b. pie
 - c. otros puntos
 3. Presencia de repie
 4. ultra arranque en algunas áreas
 5. ultra arranque generalizado

- Condiciones de las medias cañas (medio furo)
 1. totalmente preservadas (sin fisuramiento)
 2. casi totalmente
 3. intactas en algunas áreas
 4. no visibles

- Condiciones de intemperismo en las paredes
 1. ninguna mudanza notable después de ...(tiempo)
 2. alguna deterioración después de ...
 3. deterioración superficial
 4. deterioración excesiva

3.8 Control de detonaciones [18]

De un modo general, se puede adoptar las siguientes recomendaciones técnicas:

- evitar la detonación de explosivos con peso inadecuado
- usar razón de cargamento apropiada para cada tipo de roca
- no adoptar afastamientos excesivos
- procurar la utilización de malla alargada con relación espaciamiento/afastamiento, ≥ 2
- evitar el uso de prefisuramiento en el acabado del talud desmonte escultural
- iniciar adecuadamente el fuego, evitar el lado mas preso (confinado)
- evitar la detonación de furos de levante
- adoptar retardos entre carreras compatibles con la frecuencia de vibración
- aumentar número de caras libres
- reducir carga por espera
- orientar la detonación
- escoger adecuadamente el horario del fuego
- evitar la detonación de explosivos confinados
- adoptar taponamiento adecuado
- considerar las condiciones meteorológicas, la dirección y la velocidad de los vientos y nubes
- utilización de explosivos de baja velocidad
- utilización de accesorios no detonantes en la superficie

Los tiempos de retardo deben ser tal que la progresión de la voladura a lo largo del frente se efectúe a una velocidad inferior a la del sonido en el aire (340 m/s)

3.10 Casos Prácticos

Primero se tratará sobre el control de las detonaciones midiendo las vibraciones que estas producen con la ayuda de sismografos, esto por trabajar cerca de residencias, en algunos casos distancias menores de 350 metros y trabajando con perforadoras de 6 ½ “.

También se incluye distintas mallas y dispositivos de detonación que se utilizan de acuerdo al material y a la región que se va a detonar.

Cuando se trata de explosivos y propiamente dicho de detonaciones no se puede decir que la malla utilizada para un área va a satisfacer las necesidades de otra región aún estando muy cerca.

En la primera parte se demuestra el seguimiento cotidiano, casi a diario que se lleva sobre las minas, especialmente en la mina de Tamandua, donde se llega a detonar casi a los 300 metros de las residencias, lo que causa un gran número de reclamos a pesar de estar muy por debajo de los límites permitidos con respecto a vibraciones según normas internacionales y brasileras ABNT 9653, donde la velocidad maxnima de la particula a registrar debe sermenor a 15 mm/s y la presion menor a 100 Pa o 134 dB, debido a esto se llegaron a acuerdos entre la empresa y los moradores, entre los cuales la empresa se aumenta los controles e intenta disminuir más cualquier tipo de vibración proveniente de las detonaciones.

En otras minas donde no se tiene estos problemas se puede utilizar valores de vibracion más elevados siempre dentro de las normas y límites permitidos.

MINA DE TAMANDUÁ

Tabla 3.6 - Instrumentación de Detonaciones - Primer Trimestre de 1999

Fecha	Ensayo No	DETONACION				CARGA (Kg)		Dist. (m)	Registro JOB No	Vibración Terreno (mm/s)	Presión Acústica	
		Banco	Coord.		Barreno quant.	Q/esp.	Qtotal				Pa	dB
6-Jan-99	1	1289	320	8520	7	100	550	680	1	1.330	13.3	116
6-Jan-99	2	1282	640	8650	10	100	825	550	1	1.080	13.0	116
6-Jan-99	3	1282	620	8700	4	100	400	600	1	0.686	5.50	109
15-Jan-99	4	1289	320	8510	12	100	1125	670	4	2.190	10.5	114
15-Jan-99	5	1275	560	8660	13	100	975	600	4	1.670	18.8	119
15-Jan-99	6	1380	780	8990	13	100	1300	830	4	0.538	34.3	125
19-Jan-99	7	1282	320	8570	7	100	700	700	5	1.140	13.8	117
19-Jan-99	8	1275	570	8660	7	100	600	590	5	1.720	13.5	117
19-Jan-99	9	1282	660	8620	10	100	975	510	5	0.955	22.8	121
19-Jan-99	10	1282	640	8550	4	100	400	460	5	0.955	7.25	111
3-Feb-99	11	1275	600	8650	24	100	2375	570	9	1.340	17.8	119
12-Feb-99	12	1282	680	8600	7	100	700	480	10	1.600	12.5	116
12-Feb-99	13	1275	600	8690	21	100	2100	600	10	1.500	13.3	116
12-Feb-99	14	1275	480	8910	11	100	1100	850	10	<0,5	-	-
24-Feb-99	15	1275	450	8940	9	100	900	890	13	<0,5	-	-
24-Feb-99	16	1282	670	8550	15	100	1500	440	13	1.700	10.3	114
3-Mar-99	17	1275	390	8640	12	100	1050	690	16	0.724	17.0	119
10-Mar-99	18	1275	360	8660	5	100	450	730	18	1.690	30.8	124
10-Mar-99	19	1275	620	8570	7	100	675	490	18	1.690	30.8	124
10-Mar-99	20	1275	460	8930	11	150	800	880	18	0.575	6.50	110
15-Mar-99	21	1275	620	8570	7	100	550	490	20	0.924	21.3	121
15-Mar-99	22	1275	350	8970	16	100	1500	730	20	0.924	21.3	121
15-Mar-99	23	1275	380	8970	15	100	1400	950	20	0.521	8.50	113
29-Mar-99	24	1275	650	8550	8	75	600	540	23	0.930	11.3	115
29-Mar-99	25	1275	600	8700	15+5	100	1500	610	23	1.190	10.3	114

OBSERVACION: las instrumentaciones fueron realizadas en el Mirante localizado en lo alto de la Mina, a aproximadamente 120 m del límite con el Condominio.

max	25	1380	780	8990	24	150	2375	950	23	2.19	34.3	124.685282
med	13	1282.28	533.6	8693.2	10.625	101	1002	645.2	11.04	1.19878261	15.8456522	116.982758

MINA DE TAMANDUA

Tabla 3.8 - Cálculos de las Instrumentaciones - Primer Trimestre

Fecha	Ensayo No.	JOB No	Q	D	Q/D3.06	Vp=15 m	Vpmax	Vpmed	VpMirante	Vpmenor	D/Q ^{1/3}	Lim. ABNT	Resultado
					0.0005	15.00	104.41	38.01			10	100	Pa
6-Ene-99	1	1	100	680	2.1504E-07	15.00	2.02	0.74	1.330		146.5016	100	13.30
6-Ene-99	2	1	100	550	4.1161E-07	15.00	2.81	1.02	1.080		118.4939	100	13.00
6-Ene-99	3	1	100	600	3.154E-07	15.00	2.45	0.89	0.686		129.2661	100	5.50
15-Ene-99	4	4	100	670	2.2501E-07	15.00	2.07	0.75	2.190		144.3471	100	10.50
15-Ene-99	5	4	100	600	3.154E-07	15.00	2.45	0.89	1.670		129.2661	100	18.80
15-Ene-99	6	4	100	830	1.1685E-07	15.00	1.48	0.54	0.538		178.8181	100	34.30
19-Ene-99	7	5	100	700	1.9679E-07	15.00	1.93	0.70	1.140		150.8104	100	13.80
19-Ene-99	8	5	100	590	3.3204E-07	15.00	2.52	0.92	1.720		127.1116	100	13.50
19-Ene-99	9	5	100	510	5.186E-07	15.00	3.16	1.15	0.955		109.8762	100	22.80
19-Ene-99	10	5	100	460	7.1115E-07	15.00	3.71	1.35	0.955		99.104	100	7.25
3-Feb-99	11	9	100	570	3.69E-07	15.00	2.66	0.97	1.340		122.8028	100	17.80
12-Feb-99	12		100	480	6.2431E-07	15.00	3.47	1.26	1.600		103.4129	100	12.50
12-Feb-99	13		100	600	3.154E-07	15.00	2.45	0.89	1.500		129.2661	100	13.30
12-Feb-99	14		100	850	1.0864E-07	15.00	1.43	0.52		0.500	183.1269	100	
24-Feb-99	15	13	100	890	9.4377E-08	15.00	1.33	0.48		0.500	191.7447	100	
24-Feb-99	16	13	100	440	8.1477E-07	15.00	3.98	1.45	1.700		94.79513	100	10.30
3-Mar-99	17	16	100	690	2.0565E-07	15.00	1.97	0.72	0.724		148.656	100	17.00
10-Mar-99	18	18	100	730	1.7307E-07	15.00	1.81	0.66	1.690		157.2737	100	30.80
10-Mar-99	19	18	100	490	5.8614E-07	15.00	3.36	1.22	1.690		105.5673	100	30.80
10-Mar-99	20	18	150	880	1.4655E-07	15.00	1.66	0.60	0.575		165.6223	100	6.50
15-Mar-99	21	20	100	490	5.8614E-07	15.00	3.36	1.22	0.924		105.5673	100	21.30
15-Mar-99	22	20	100	730	1.7307E-07	15.00	1.81	0.66	0.924		157.2737	100	21.30
15-Mar-99	23	20	100	950	7.7298E-08	15.00	1.20	0.44	0.521		204.6713	100	8.50
29-Mar-99	24	23	75	540	3.2654E-07	15.00	2.50	0.91	0.930		128.0482	100	11.30
29-Mar-99	25	23	100	610	2.9984E-07	15.00	2.39	0.87	1.190		131.4205	100	10.30
					1E-09	15.00	0.13	0.05			999	100	
MINIMO	1	1	75	440	7.7298E-08	15	1.199627	0.436664	0.521	0.5	94.79513	100	5.5
MAXIMO	25	23	150	950	8.1477E-07	15	3.978201	1.448065	2.19	0.5	204.6713	100	34.3
MEDIA	13	11.18182	101	645.2	3.3035E-07	15	2.399815	0.873533	1.198783	0.5	138.5138	100	15.84565

GRÁFICO 1 - VIBRACIONES POR EL TERRENO - 1º TRIMESTRE DE 1999

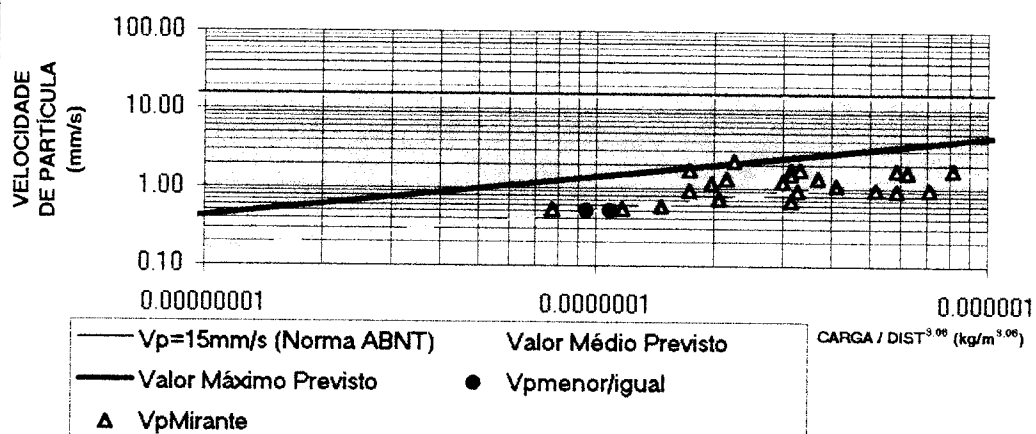
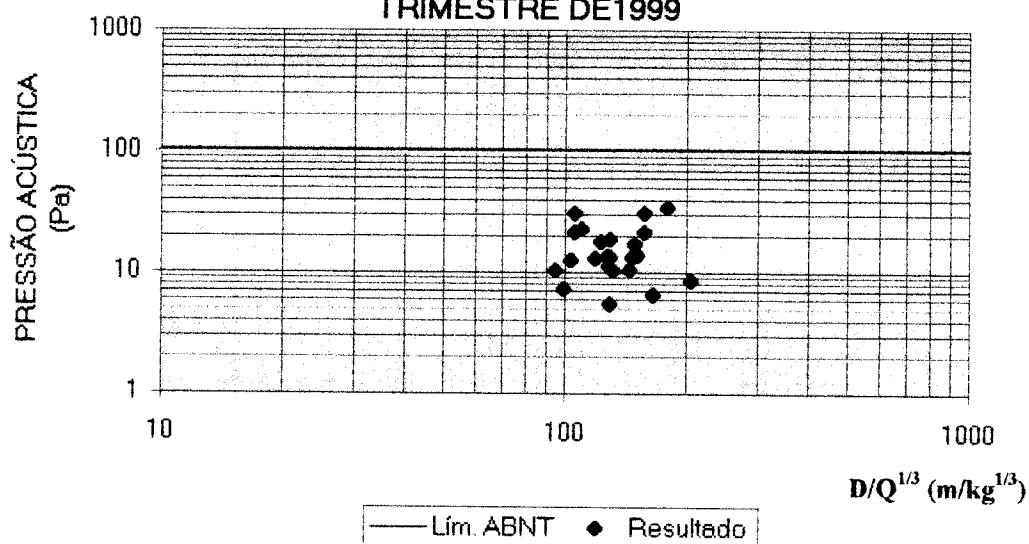


GRÁFICO 2 - VIBRACIONES POR LA ATMOSFERA - 1º TRIMESTRE DE 1999



MINA DE TAMANDUÁ

Tabla 3.8 - Instrumentación de Detonaciones - Abril de 1999

Ensayo No	Fecha	JOB No	Det. No	DETONACION					CARGA (Kg)		Dist. (m)	Local Instr.	Vibrac. Terreno (mm/s)	Presión Acústica	
				Banco	Coord.	Barreno			Q/esp.	Qtotat				Pa	dB
						diam.	cant.								
1	9-Apr-99	26	1	1275	640	8570	6 1/2	9	112	925	480	Mirante	1.180	12.30	116
2	9-Apr-99	26	2	1282	700	8500	6 1/2	13	100	1300	390	Mirante	2.640	8.00	112
3	9-Apr-99	26	3	1275	350	8630	6 1/2	12	100	1200	720	Mirante	0.660	5.25	108
4	9-Apr-99	26	4	1275	410	8620	6 1/2	7	112	750	660	Mirante	0.693	2.50	102
5	12-Apr-99	29	1	1275	400	8600	6 1/2	10	110	1025	790	Paulo Saliba	0.592	2.00	100
6	15-Apr-99	31	1	1275	650	8550	6 1/2	17	75	1100	460	Mirante	1.520	8.50	113
7	15-Apr-99	31	2	1275	640	8560	6 1/2	16	75	1050	470	Mirante	1.240	6.50	110
8	15-Apr-99	31	3	1275	440	8630	6 1/2	18	60	975	650	Mirante	0.654	5.75	109
9	15-Apr-99	31	4	1275	380	8810	4	20	50	1000	820	Mirante	< 0.5		
10	15-Apr-99	31	1	1275	650	8550	6 1/2	17	75	1100	670	alesteros - Inte	-		
11	15-Apr-99	31	2	1275	740	8560	6 1/2	16	75	1050	670	alesteros - Inte	-		
12	15-Apr-99	31	3	1275	440	8630	6 1/2	18	60	975	720	alesteros - Inte	-		
13	15-Apr-99	31	4	1275	380	8810	4	20	50	1000	900	alesteros - Inte	-		
14	19-Apr-99	31	1	1275	650	8540	6 1/2	16	100	1600	450	Mirante	1.550	9.25	113
15	19-Apr-99	31	2	1289	700	8550	4	20	25	450	430	Mirante	1.550	9.25	113
16	19-Apr-99	31	3	1275	450	8630	6 1/2	26	75	1900	640	Mirante	1.160	8.50	113
17	23-Apr-99	34	1	1275	670	8540	6 1/2	8	50	375	760	Paulo Saliba	< 0.5		
18	23-Apr-99	34	2	1289	720	8570	6 1/2	22	105	2225	800	Paulo Saliba	1.050	4.50	107
19	23-Apr-99	34	3	1302	500	9400	4	25	25	550	1590	Paulo Saliba	< 0.5		
20	27-Apr-99	35	1	1275	660	8530	4	20	40	775	750	Paulo Saliba	0.536	2.25	101
21	27-Apr-99	35	2	1289	700	8630	6 1/2	5	125	575	850	Paulo Saliba	0.561	2.50	102
22	27-Apr-99	35	3	1289	680	8670	6 1/2	4	125	475	890	Paulo Saliba	< 0.5		
23	27-Apr-99	35	1	1275	660	8530	4	20	40	775	650	Balesteros	< 0.5		
24	27-Apr-99	35	2	1289	700	8630	6 1/2	5	125	575	760	Balesteros	< 0.5		
25	27-Apr-99	35	3	1289	680	8670	6 1/2	4	125	475	790	Balesteros	< 0.5		
26	28-Apr-99	37	1	1296	730	8460	6 1/2	9	150	1275	340	Mirante	1.900	4.75	108
27	28-Apr-99	37	2	1282	640	8700	4	15	40	525	590	Mirante	0.742	4.50	107
28	28-Apr-99	37	3	1282	580	8750	4	6	40	200	660	Mirante	< 0.5		
29	28-Apr-99	37	1	1296	730	8460	6 1/2	9	150	1275	670	Dna Ursula	1.030	2.50	102
30	28-Apr-99	37	2	1282	640	8700	4	15	40	525	860	Dna Ursula	0.579	7.75	112
31	28-Apr-99	37	3	1282	580	8750	4	6	40	200	900	Dna Ursula	< 0.5		
32	29-Apr-99	38	1	1302	500	9450	4	80	30	2375	1340	Mirante	0.795	12.00	116
33	29-Apr-99	38	1	1302	500	9450	4	80	30	2375	1640	Paulo Saliba	< 0.5		

MINA DE TAMANDUÁ

Tabla 3.9 - Instrumentación de Detonaciones - Mayo de 1999

Ensayo No	Fecha	JOB No	Det. No	DETONACION					CARGA (Kg)		Dist. (m)	Local Inst.	Vibración Terreno (mm/s)	Presión Acústica	
				Banco	Coord.	Barreno		Q/esp.	Qtotal	Pa				dB	
						diam.	cant.								
1	3-May-99	40	1	1296	740	8450	6.5	15	100	2350	700	Paulo Saliba	0.667	3.50	105
2	3-May-99	40	2	1275	450	8850	4	19	60	975	840	Paulo Saliba	0.683	1.75	99
3	3-May-99	40	3	1282	430	8550	4	35	40	1350	740	Paulo Saliba	0.566	2.75	103
4	3-May-99	40	1	1296	740	8450	6.5	15	100	2350	320	Mirante	2.890	8.50	113
5	3-May-99	40	2	1275	450	8850	4	19	60	975	660	Mirante	0.807	3.50	105
6	3-May-99	40	3	1282	430	8550	4	35	40	1350	600	Mirante	< 0.5		
7	5-May-99	42	1	1289	720	8600	6.5	17	100	1550	470	Mirante	1.010	6.75	111
8	5-May-99	42	2	1282	330	8520	4	20	55	1025	670	Mirante	0.580	4.50	107
9	5-May-99	42	3	1275	450	8620	4 + 61/2	10 + 8	100	1175	640	Mirante	0.785	21.50	121
10	5-May-99	42	4	1268	280	8950	6.5	9	100	900	1000	Mirante	1.290	11.50	115
11	5-May-99	41	1	1289	720	8600	6.5	17	100	1550	790	Dna Ursula	0.804	3.25	104
12	5-May-99	41	2	1282	330	8520	4	20	55	1025	660	Dna Ursula	0.948	5.00	108
13	5-May-99	41	3	1275	450	8620	4 + 61/2	10 + 8	100	1175	760	Dna Ursula	1.030	5.75	109
14	5-May-99	41	4	1268	280	8950	6.5	9	100	900	1100	Dna Ursula	2.540	10.50	114
15	10-May-99	44	1	1289	720	8630	6.5	7	50	350	500	Mirante	0.672	7.75	112
16	10-May-99	44	2	1289	390	8530	4	14	60	775	620	Mirante	0.620	10.50	114
17	10-May-99	44	3	1275	470	8620	6.5	12	225	1400	620	Mirante	0.887	11.80	115
18	10-May-99	44	1	1289	720	8630	6.5	7	50	350	860	Paulo Saliba	< 0.5		
19	10-May-99	44	2	1289	390	8530	4	14	60	775	720	Paulo Saliba	0.582	2.00	100
20	10-May-99	44	3	1275	470	8620	6.5	12	225	1400	810	Paulo Saliba	0.740	2.80	103
21	12-May-99	46	1	1289	350	8510	4	20	40	800	650	Dna Ursula	0.951	36.80	125
22	12-May-99	46	2	1268	280	8970	61/2	17	100	1700	1110	Dna Ursula	0.907	3.75	105
23	12-May-99	46	1	1289	350	8510	4	20	40	800	690	Gutz	< 0.5		
24	12-May-99	46	2	1268	280	8970	61/2	17	100	1700	1160	Gutz	< 0.5		
25	12-May-99	46	1	1289	350	8510	4	20	40	800	640	Mirante	< 1.0		
26	12-May-99	46	2	1268	280	8970	61/2	17	100	1700	1010	Mirante	<1.0		
27	13-May-99	47	1	1289	370	8480	3	40	12.5	500	610	Mirante	< 0.5		
28	13-May-99	47	2	1275	460	8600	6 1/2	9	110	925	610	Mirante	0.719	14.50	117
29	13-May-99	47	3	1275	460	8640	6 1/2	6	100	550	640	Mirante	< 0.5		
30	13-May-99	47	1	1289	370	8480	3	40	12.5	500	665	Gutz	0.681	9.25	113
31	13-May-99	47	2	1275	460	8600	6 1/2	9	110	925	780	Gutz	0.605	2.75	103
32	13-May-99	47	3	1275	460	8640	6 1/2	6	100	550	820	Gutz	< 0.5		
33	17-May-99	48	1	1289	350	8500	4	16	60	875	640	Mirante	0.575	5.75	109
34	17-May-99	48	2	1275	420	8570	6 1/2	6	100	575	620	Mirante	< 0.5		
35	17-May-99	48	3	1303	470	9070	6 1/2	17	100	1850	1000	Mirante	< 0.5		
36	17-May-99	48	1	1289	350	8500	4	16	60	875	600	Balesteros	0.672	4.00	106
37	17-May-99	48	2	1275	420	8570	6 1/2	6	100	575	660	Balesteros	< 0.5		
38	17-May-99	48	3	1303	470	9070	6 1/2	17	100	1850	1160	Balesteros	< 0.5		
39	19-May-99	49	1	1275	520	8520	6 1/2	13	40	525	660	Dna Ursula	1.710	7.00	111
40	19-May-99	49	2	1275	450	8580	61/2+4"	9+11	100	1525	720	Dna Ursula	1.010	6.00	110
41	19-May-99	49	1	1275	520	8520	6 1/2	13	40	525	520	Mirante	< 1		

42	19-May-99	49	2	1275	450	8580	61/2+4"	9+11	100	1525	610	Mirante	<1		
43	20-May-99	50	1	1289	260	8560	6 1/2	20	100	2000	690	M Martins	1.140	5.50	109
44	20-May-99	50	2	1275	370	8590	4"+61/2	10+8	100	1500	660	M Martins	0.779	3.50	105
45	20-May-99	50	3	1282	420	8540	61/2	10	115	1150	600	M Martins	0.598	10.50	114
46	20-May-99	51	1	1289	260	8560	6 1/2	20	100	2000	750	Mirante	1.500	41.00	126
47	20-May-99	51	2	1275	370	8590	4"+61/2	10+8	100	1500	670	Mirante	0.715	34.50	125
48	20-May-99	51	3	1282	420	8540	61/2	10	115	1150	600	Mirante	< 0.5		
49	21-May-99	51	1	1296	700	8440		4 20	35	700	450	M Martins	0.92		
50	21-May-99	51	2	1289	310	8510	6 1/2	8	105	825	620	M Martins	0.78		
51	21-May-99	51	3	1289	330	8510	6 1/2	8	90	700	610	M Martins	0.99		
52	21-May-99	51	4	1275	320	9070		12	100	1175	1130	M Martins	1.29		
53	24-May-99	-	2	1303	480	9080	6 1/2	6	90	525	1100	M Martins	< 0,5		
54	24-May-99	-	1	1275	430	8570	4	31	50	1550	620	M Martins	0.949		
55	25-May-99	-	1	1275	340	8590	6 1/2	21	200	2150	675	M Martins	1.080		
56	26-May-99	9021	1	1289	360	8440	6 1/2	34	70	1575	535	M Martins	0.581		
57	26-May-99	9021	2	1275	660	8590	61/2	10	100	900	600	M Martins	1.040		
58	26-May-99	9021	3	1282	690	8590	61/2	10	125	1025	600	M Martins	0.620		
59	27-May-99	9021	1	1275	640	8520	4	24	45	825	530	M Martins	0.530		
60	27-May-99	9021	2	1275	420	8580	6 1/2	10	75	725	630	M Martins	0.540		
61	27-May-99	9021	3	1282	380	8560	6 1/2	22	100	1975	630	M Martins	1.670		
62	28-May-99	9021	1	1289	280	8480	4	30	50	875	610	M Martins	0.588		
63	28-May-99	9021	2	1275	320	8940	61/2	19	100	1825	1010	M Martins	1.430		
64	28-May-99	9021	3	1275	440	8610	61/2	23	100	1825	655	M Martins	2.470		

MINA DE TAMANDUÁ

Tabla 3.10 - Instrumentación de Detonaciones - Junio de 1999

Ensayo No	Fecha	JOB No	Det. No	DETONACION					CARGA (Kg)		Dist. (m)	Local Inst.	Vibración Terreno (mm/s)	Presión Acústica	
				Banco	Coord.	Barreno			Q/esp.	Qtotal				Pa	dB
						diam.	cant.								
1	1-Jun-99	9022	1	1275	430	8540	6 1/2	19	100	1750	590	M Martins	1.260		
2	1-Jun-99	9022	2	1289	710	8500	6 1/2	36	50	1775	510	M Martins	0.986		
3	1-Jun-99	9022	3	1268	360	8890	6 1/2	10	90	900	950	M Martins	2.330		
4	2-Jun-99	9022	1	1275	410	8580	6 1/2	17	100	1550	640	M Martins	1.880		
5	2-Jun-99	9022	2	1275	600	8520	6 1/2	16	100	1350	530	M Martins	1.260		
6	2-Jun-99	9022	3	1275/82	380	8500	6 1/2	13+11	150	2350	580	M Martins	0.820		
7	2-Jun-99	9022	4	1268	310	8970	6 1/2	6	75	450	1040	M Martins	1.290		
8	2-Jun-99	54	1	1275	410	8580	6 1/2	17	100	1550	765	Dna Ursula	1.710	5.25	108
9	2-Jun-99	54	2	1275	600	8520	6 1/2	16	100	1350	740	Dna Ursula	1.060	6.50	110
10	2-Jun-99	54	3	1275/82	380	8500	6 1/2	13+11	150	2350	685	Dna Ursula	0.951	4.25	107
11	2-Jun-99	54	4	1268	310	8970	6 1/2	6	75	450	1160	Dna Ursula	1.070	3.25	104
12	8-Jun-99	9023	1	1282	700	8500	6 1/2	28	100	2525	550	M Martins	1.450		
13	8-Jun-99	9023	2	1282	420	8520	6 1/2	14	100	1175	610	M Martins	0.937		
14	8-Jun-99	9023 2b		1282	420	8520	6 1/2	-	100	-	610	M Martins	1.150		
15	8-Jun-99	9023	3	1282	400	8540	6 1/2	14	100	1225	640	M Martins	0.980		
16	8-Jun-99	9023	4	1268	250	8920	6 1/2	28	150	1750	1045	M Martins	1.610		
17	8-Jun-99	9023	5	1268	330	8930	6 1/2	18	75	1325	1030	M Martins	1.160		
18	10-Jun-99	9023	1	1282	700	8450	6 1/2	52	100	4700	500	M Martins			
19	10-Jun-99	9023	2	1282	700	8450	6 1/2	-	100	-	500	M Martins			
20	10-Jun-99	9023	3	1282	380	8530	4	44	25	1100	635	M Martins	0.771		
21	11-Jun-99	9023	1	1275	340	8610	4	15	35	450	725	M Martins	0.651		
22	11-Jun-99	9023	2	1268	250	8900	6 1/2	27	75	1950	1030	M Martins	2.820		
23	11-Jun-99	9023	3	1300	560	9250	4	52	30	1375	1300	M Martins	< 0,5		
24	14-Jun-99	9024	1	1289	730	8450	6 1/2	19	100	1725	500	M Martins	1.990		
25	14-Jun-99	9024	2	1282	340	8500	6 1/2	21	100	1750	630	M Martins	0.748		
27	14-Jun-99	9024 2b		1282	340	8500	6 1/2		100		630	M Martins	1.060		
26	14-Jun-99	9024	3	1268	360	8920	6 1/2	25	75	1875	1010	M Martins	1.810		
28	15-Jun-99	9024	1	1289	710	8410	6 1/2	11	100	1025	460	M Martins	1.290		
29	15-Jun-99	9024	2	1380	800	8900	6 1/2	45	100	4450	1000	M Martins	0.818		
30	15-Jun-99	9024 2b		1380	800	8900	6 1/2		100		1000	M Martins	0.870		
31	15-Jun-99	9024	3	1300	500	9100	6 1/2	6	125	625	1155	M Martins	0.573		
32	21-Jun-99	9025	1	1282	700	8500	6 1/2	17	100	1600	550	M Martins	0.980		
33	21-Jun-99	9025	2	1282	380	8520	6 1/2	8	100	700	630	M Martins	0.790		
34	21-Jun-99	9025	3	1373	80	8700	6 1/2	54	100	4700	940	M Martins	1.170		
35	22-Jun-99	9025	1	1282	350	8510	6 1/2	10	100	975	630	M Martins	1.340		
36	22-Jun-99	9025	2	1282	730	8470	6 1/2	22	100	2050	520	M Martins	1.780		
37	22-Jun-99	9025	3	1294	500	9100	6 1/2	8	100	725	1155	M Martins	-		
38	23-Jun-99	9025	1	1282	720	8490	6 1/2	13	100	1250	540	M Martins	0.691		
39	23-Jun-99	9025	2	1289	730	8580	6 1/2	36	75	2575	630	M Martins	1.160		
40	23-Jun-99	9025	3	1275	330	8600	6 1/2	5	75	350	720	M Martins	0.820		
41	23-Jun-99	9025	4	1296	530	9110	6 1/2	5	75	375	1160	M Martins	-		
42	23-Jun-99	9025	5	1300	520	9300	4	18	50	700	1350	M Martins	-		

**TABLA 3.11 - CALCULOS DE VIBRACIONES DE INSTRUMENTACION
SEGUNDO TRIMESTRE - 1998**

Frcta	Insayn No	JOB No	Q	D	3D3(d)	Vp=15 mm/s	Vpmax	Vpmed	VpMirrite	Vpmonofig	Vp	resid.	D.Q.7/3	Lytle & 3rd	Fac. 7/3
					10.0005	15.10	104.41	28.01					10	100	
9-Apr-99	1	26		12	480	6.8923E-07	15.10	3.88	1.34	1.180			86.573184	100	12.30
9-Apr-99	2	28	00		380	1.175E-06	15.10	4.80	1.75	2.640			84.0223529	100	8.00
9-Apr-99	3	26	00		720	1.8054E-07	15.10	1.85	0.87	0.680			155.113288	100	5.25
9-Apr-99	4	26	12		680	2.838E-07	15.10	2.24	0.82	0.693			136.821378	100	2.50
12-Apr-99	5	29	10		790	1.455E-07	15.10	1.88	0.81		0.582		164.873058	100	2.00
15-Apr-99	6	31	75		480	5.333E-07	15.10	3.21	1.17	1.520			108.073081	100	8.50
15-Apr-99	7	31	75		470	4.8939E-07	15.10	3.10	1.13	1.240			111.443324	100	6.50
15-Apr-99	8	31	80		650	1.4813E-07	15.10	1.67	0.81	0.654			168.01371	100	5.75
15-Apr-99	9	31	50		820	6.0932E-08	15.10	1.08	0.39		0.50		222.582245	100	
15-Apr-99	10	31	75		670	1.8878E-07	15.10	1.79	0.85				158.874588	100	
15-Apr-99	11	31	75		670	1.8878E-07	15.10	1.79	0.85				158.874588	100	
15-Apr-99	12	31	60		720	1.0812E-07	15.10	1.42	0.52				183.814284	100	
15-Apr-99	13	31	80		900	4.5962E-08	15.10	0.82	0.33				244.287585	100	
18-Apr-99	14	31	00		450	7.8062E-07	15.10	3.84	1.40	1.550			86.9483811	100	9.25
18-Apr-99	15	31	25		430	2.1854E-07	15.10	2.04	0.74	1.550			147.057831	100	8.25
18-Apr-99	16	31	75		640	1.8418E-07	15.10	1.92	0.70	1.180			151.781781	100	8.50
23-Apr-99	17	34	50		780	7.8533E-08	15.10	1.18	0.43		0.50		206.283739	100	
23-Apr-99	18	34	05		800	1.3712E-07	15.10	1.81	0.59		1.050		189.574373	100	4.50
27-Apr-99	19	34	25		1590	3.8984E-09	15.10	0.27	0.10		0.50		443.772351	100	
27-Apr-99	20	35	40		750	6.3734E-08	15.10	1.08	0.40		0.50		219.31133	100	2.25
27-Apr-99	21	35	25		850	1.388E-07	15.10	1.60	0.58		0.581		170	100	2.50
27-Apr-99	22	35	25		880	1.1767E-07	15.10	1.48	0.54		0.50		178	100	
27-Apr-99	23	35	40		650	9.8752E-08	15.10	1.38	0.48		0.50		190.061153	100	
27-Apr-99	24	35	25		780	1.8128E-07	15.10	1.80	0.88		0.50		152	100	
28-Apr-99	25	35	25		790	1.8889E-07	15.10	1.78	0.85		0.50		158	100	
28-Apr-99	26	37	50		340	2.8891E-08	15.10	7.31	2.86	1.900			83.93045	100	4.75
28-Apr-99	27	37	40		580	1.3282E-07	15.10	1.58	0.58	0.742			172.517047	100	4.50
28-Apr-99	28	37	40		680	9.4244E-08	15.10	1.33	0.48		0.50		182.983171	100	
28-Apr-99	29	37	50		670	3.3752E-07	15.10	2.54	0.82		1.030		126.063828	100	2.50
28-Apr-99	30	37	40		880	4.1927E-08	15.10	0.88	0.32		0.579		251.463525	100	7.75
28-Apr-99	31	37	40		900	3.8482E-08	15.10	0.82	0.30		0.50		263.161596	100	
28-Apr-99	32	38	30		1340	8.0894E-09	15.10	0.38	0.14		0.795		431.251825	100	12.00
28-Apr-99	33	38	30		1640	4.3851E-09	15.10	0.28	0.10		0.50		827.801884	100	
3-May-99	1	40	00		700	1.9879E-07	15.10	1.83	0.70		0.887		150.811428	100	1.50
3-May-99	2	40	80		840	6.758E-08	15.10	1.12	0.41		0.883		214.563641	100	7.75
3-May-99	3	40	40		740	6.847E-08	15.10	1.11	0.40		0.586		18.377313	100	2.75
3-May-99	4	40	00		320	2.1589E-08	15.10	6.53	2.38	2.890			68.8413101	100	8.50
3-May-99	5	40	80		680	1.4137E-07	15.10	1.83	0.59	0.807			168.583075	100	3.50
3-May-99	6	40	40		900	1.2618E-07	15.10	1.54	0.58		0.50		175.441084	100	
3-May-99	7	42	00		470	6.85E-07	15.10	3.59	1.31	1.010			101.23843	100	6.75
3-May-99	8	42	55		670	1.2378E-07	15.10	1.52	0.55	0.580			178.173805	100	4.50
3-May-99	9	42	00		640	2.5887E-07	15.10	2.22	0.81	0.785			137.83382	100	21.50
3-May-99	10	42	00		1000	6.809E-08	15.10	1.11	0.40	1.280			215.443489	100	11.50
3-May-99	11	41	00		780	1.3581E-07	15.10	1.60	0.58		0.884		170.203341	100	3.25
3-May-99	12	41	55		680	1.28E-07	15.10	1.56	0.57		0.848		173.543388	100	5.00
3-May-99	13	41	80		780	1.5311E-07	15.10	1.70	0.82		1.030		183.757036	100	5.75
3-May-99	14	41	00		1100	4.938E-08	15.10	0.95	0.35	2.540			236.987818	100	10.50
3-May-99	15	44	50		500	2.75E-07	15.10	2.29	0.83	0.672			135.72881	100	7.75
3-May-99	16	44	80		620	1.7117E-07	15.10	1.80	0.85	0.620			158.373618	100	10.50
3-May-99	17	44	225		620	6.418E-07	15.10	3.52	1.28	0.887			101.933788	100	11.80
3-May-99	18	44	50		880	5.248E-08	15.10	0.88	0.38		0.50		233.433815	100	
3-May-99	19	44	80		720	1.08C2E-07	15.10	1.42	0.52			0.582	183.814284	100	2.00
3-May-99	20	44	225		810	2.838E-07	15.10	2.32	0.85		0.40		133.173452	100	2.80
3-May-99	21	45	40		650	9.87E-08	15.10	1.38	0.49		0.951		190.061153	100	38.80
3-May-99	22	48	00		1110	4.80C8E-08	15.10	0.84	0.34		0.907		238.142251	100	3.75
3-May-99	23	48	40		690	8.22E-08	15.10	1.24	0.45		0.50		201.757224	100	
3-May-99	24	48	00		1180	4.18E-08	15.10	0.88	0.32		0.50		249.914424	100	
3-May-99	25	48	40		640	1.03E-07	15.10	1.39	0.51		< 0.1		187.137135	100	
3-May-99	26	48	00		1010	6.40E-08	15.10	1.09	0.40		< 0.1		217.587804	100	
3-May-99	27	47	12.5		611	3.72E-08	15.10	0.83	0.30		0.50		263.271919	100	
3-May-99	28	47	10		614	3.23E-07	15.10	2.49	0.80		0.719		128.143731	100	14.50
3-May-99	29	47	00		643	2.5E-07	15.10	2.20	0.80		0.50		138.53151	100	
3-May-99	30	47	12.5		681	2.9315E-08	15.10	0.73	0.27			0.881	284.813286	100	9.25
3-May-99	31	47	10		782	1.54E-07	15.10	1.71	0.82		0.905		183.203407	100	2.75
3-May-99	32	47	00		822	1.20E-07	15.10	1.50	0.55		0.50		177.094532	100	
7-May-99	33	48	80		640	1.55E-07	15.10	1.71	0.82	0.575			183.473346	100	5.75
7-May-99	34	48	00		820	2.85E-07	15.10	2.33	0.85		0.50		133.574851	100	
7-May-99	35	48	00		1000	6.80E-08	15.10	1.11	0.40		0.50		215.443489	100	
7-May-99	36	48	80		600	1.89E-07	15.10	1.89	0.88		0.872		153.261886	100	4.00

7-May-99	37	48	00	680	2.35E-07	15.0	2.12	0.77		0.5		142.13269	100	
7-May-99	38	48	00	1180	4.19E-08	15.0	0.88	0.32		0.5		249.914424	100	
9-May-99	39	49	40	880	6.424E-08	15.0	1.33	0.48			1.70	92.985171	100	7.00
9-May-99	40	49	00	720	1.80E-07	15.0	1.85	0.67			1.010	155.114298	100	0.00
9-May-99	41	49	40	520	1.954E-07	15.0	1.82	0.70		1.00		152.043922	100	
9-May-99	42	49	00	610	2.89E-07	15.0	2.39	0.87		1.00		131.423516	100	
10-May-99	43	50	00	981	2.04E-07	15.0	1.87	0.72			1.40	148.871437	100	5.50
10-May-99	44	50	00	862	2.334E-07	15.0	2.11	0.77			0.779	142.823578	100	3.50
10-May-99	45	50	15	596	3.70E-07	15.0	2.66	0.87			0.598	122.5595	100	10.50
10-May-99	46	51	00	747	1.81E-07	15.0	1.74	0.63	1.500			160.933271	100	41.00
10-May-99	47	51	00	670	2.25E-07	15.0	2.07	0.75	0.715			144.347124	100	34.50
10-May-99	48	51	15	690	3.62E-07	15.0	2.64	0.98	< 0.5			123.362047	100	
21-May-99	49	51	35	453	2.80E-07	15.0	2.23	0.81			0.92	138.493651	100	2.50
21-May-99	50	51	05	621	2.98E-07	15.0	2.38	0.87			0.78	131.832107	100	2.50
21-May-99	51	51	87.5	611	2.81E-07	15.0	2.23	0.81			0.99	137.627481	100	2.75
21-May-99	52	51	00	1129	4.55E-08	15.0	0.82	0.33			1.29	243.253677	100	2.75
24-May-99	53		87.5	1103	4.28E-08	15.0	0.89	0.32		0.50		248.451282	100	
24-May-99	54		50	620	1.42E-07	15.0	1.84	0.80			0.949	168.293882	100	2.25
25-May-99	55		200	675	4.39E-07	15.0	2.81	1.06			1.080	115.423378	100	2.75
26-May-99	56	0201	75	535	3.35E-07	15.0	2.53	0.82			0.581	126.862528	100	
26-May-99	57	0201	00	600	3.15E-07	15.0	2.45	0.89			1.040	129.263081	100	
26-May-99	58	0201	25	601	3.82E-07	15.0	2.74	1.00			0.620	140.20.2	100	
27-May-99	59	0201	45	530	2.074E-07	15.0	1.98	0.72			0.530	149.003438	100	
27-May-99	60	0201	75	633	2.00E-07	15.0	1.95	0.71			0.540	150.10387	100	
27-May-99	61	0201	00	631	2.70E-07	15.0	2.27	0.83			1.670	135.844829	100	
28-May-99	62	0201	50	614	1.46E-07	15.0	1.86	0.81			0.588	168.655242	100	
28-May-99	63	0201	00	1006	6.48E-08	15.0	1.10	0.40			1.430	216.73613	100	
28-May-99	64	0201	00	655	2.41E-07	15.0	2.14	0.78			2.470	141.115472	100	
1-Jul-99	65	0222	00	590	3.32E-07	15.0	2.52	0.92			1.280	127.111647	100	
1-Jul-99	66	0222	50	510	2.53E-07	15.0	2.22	0.81			0.968	136.435298	100	
1-Jul-99	67	0222	00	950	6.95E-08	15.0	1.14	0.41			2.330	211.987101	100	
2-Jul-99	68	0222	00	640	2.58E-07	15.0	2.22	0.81			1.080	137.83382	100	
2-Jul-99	69	0222	00	530	4.01E-07	15.0	2.98	1.08			1.280	114.185039	100	
2-Jul-99	70	0222	50	580	5.24E-07	15.0	3.18	1.16			0.920	109.16179	100	
2-Jul-99	71	0222	75	1040	4.39E-08	15.0	0.90	0.33			1.290	248.811280	100	
2-Jul-99	72	54	00	785	1.48E-07	15.0	1.88	0.81			1.710	164.814254	100	5.25
2-Jul-99	73	54	00	740	1.68E-07	15.0	1.77	0.84			1.080	159.423187	100	6.50
2-Jul-99	74	54	50	685	3.15E-07	15.0	2.45	0.89			0.951	128.921936	100	4.25
2-Jul-99	75	54	75	1180	3.14E-08	15.0	0.76	0.28			1.070	275.063416	100	3.25
8-Jul-99	76	0223	00	550	4.19E-08	15.0	0.88	0.32			1.450	118.493908	100	
8-Jul-99	77	0223	00	610	4.11E-07	15.0	2.81	1.02			0.937	131.423516	100	
8-Jul-99	78	0223	00	610	2.89E-07	15.0	2.39	0.87			1.50	131.423516	100	
8-Jul-99	79	0223	00	640	2.89E-07	15.0	2.39	0.87			0.980	137.83382	100	
8-Jul-99	80	0223	50	1045	3.88E-07	15.0	2.73	0.99			1.610	198.67653	100	
8-Jul-99	81	0223	75	1030	4.33E-08	15.0	0.89	0.33			1.80	198.67653	100	
10-Jul-99	82	0224	00	500	6.03E-08	15.0	1.08	0.38			1.80	244.243007	100	
10-Jul-99	83	0224	00	500	5.1E-07	15.0	3.26	1.19			2.570	107.721735	100	
10-Jul-99	84	0224	25	635	1.37E-07	15.0	1.81	0.59			2.570	107.721735	100	
11-Jul-99	85	0224	35	725	9.28E-08	15.0	1.32	0.48			0.771	217.163845	100	
11-Jul-99	86	0224	75	1030	1.32E-07	15.0	1.58	0.57			0.651	221.643284	100	
11-Jul-99	87	0224	30	1300	1.81E-08	15.0	0.57	0.21		0.50	2.820	244.243007	100	
14-Jul-99	88	0224	00	500	2.89E-08	15.0	0.74	0.27			2.18	373733	100	
14-Jul-99	89	0224	00	630	5.1E-07	15.0	3.26	1.19			1.990	107.721735	100	
14-Jul-99	90	0224	00	630	2.71E-07	15.0	2.27	0.83			0.748	135.723385	100	
14-Jul-99	91	0224	75	1010	2.03E-07	15.0	1.98	0.72			1.080	135.723385	100	
15-Jul-99	92	0224	00	480	6.40E-08	15.0	0.99	0.40			1.810	239.497483	100	
15-Jul-99	93	0224	00	1000	7.11E-07	15.0	3.71	1.35			1.290	98.1033957	100	
15-Jul-99	94	0224	00	1000	6.80E-08	15.0	1.11	0.40			0.818	215.443486	100	
15-Jul-99	95	0224	25	1155	8.25E-08	15.0	1.24	0.45			0.870	215.443486	100	
21-Jul-99	96	0225	00	550	4.25E-08	15.0	0.88	0.32			0.573	231	100	
21-Jul-99	97	0225	00	630	4.11E-07	15.0	2.81	1.02			0.990	118.493908	100	
21-Jul-99	98	0225	00	940	2.71E-07	15.0	2.27	0.83			0.790	135.723385	100	
21-Jul-99	99	0225	00	630	7.98E-08	15.0	1.22	0.44			1.70	202.513861	100	
22-Jul-99	100	0225	00	520	2.71E-07	15.0	2.27	0.83			1.340	135.723385	100	
22-Jul-99	101	0225	00	1155	4.88E-07	15.0	3.07	1.12			1.780	112.033804	100	
23-Jul-99	102	0225	00	640	4.25E-08	15.0	0.88	0.32			2.48	837207	100	
23-Jul-99	103	0225	75	630	3.28E-07	15.0	2.50	0.91			0.691	116.333473	100	
23-Jul-99	104	0225	75	720	2.03E-07	15.0	1.96	0.72			1.80	149.383519	100	
23-Jul-99	105	0225	75	1180	1.35E-07	15.0	1.60	0.58			0.820	170.733878	100	
23-Jul-99	106	0225	50	1350	2.09E-08	15.0	0.62	0.22			2.75	1063416	100	
					1E-08	15.0	0.13	0.05			2.88	86.443378	100	
						15.0					999		100	
MINIMO	1	28	12.6	320	3.89E-09	15.0	0.36558347	0.09867802	0.575	0.5		63.93045	100	1.75
MAXIMO	64	0201	25	1640	2.89E-08	15.0	7.30686177	2.65963578	2.88	1		243.773251	100	41

VELOCIDADE DE PARTICULA (mm/s)

CARGA / DISTÂNCIA^{3,06} (kg/m^{3,06})

— Vp=15mm/s (Norma ABNT) Valor Médio Previsto

— Valor Máximo Previsto

● Vpmenor/igual

△ VpMirante

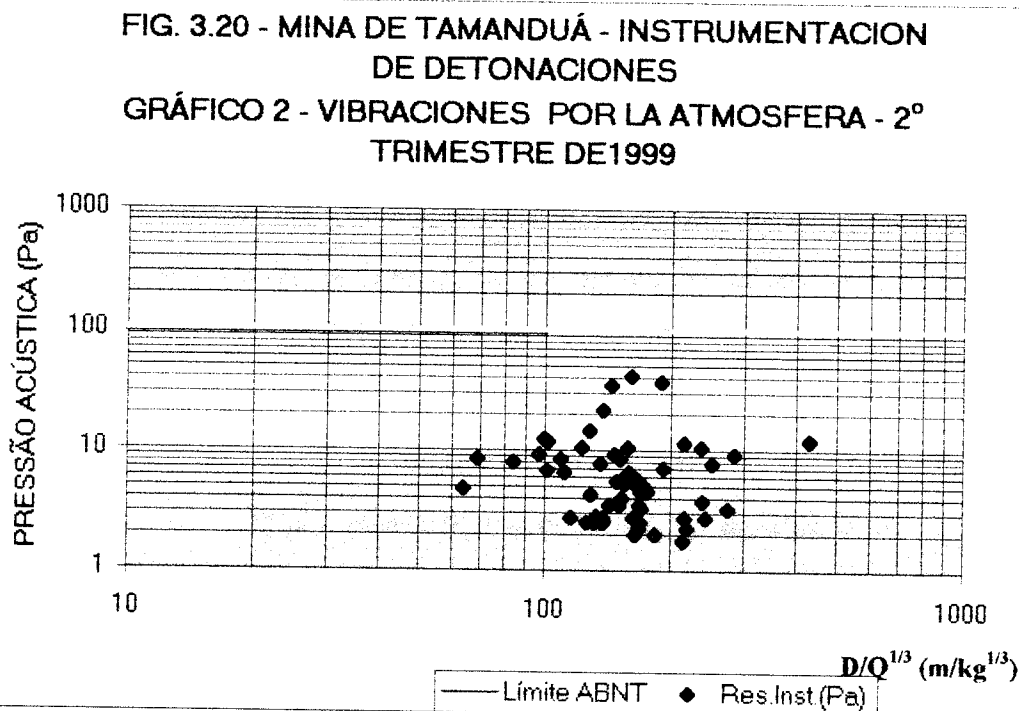


Tabla 3.12 - Razón de Carga

Material	Razon de Carga g/t	Densidades t/m ³
Mineral	61	3.5
Ib / Id	250	3.7
Fs / Qt	120	2.6

Tabla 3.13 - Tipo de Malla en MAC

Material	Producción			Línea de Corte		
	Espac. m	Afas. m	m ²	Espac. m	Afas. m	m ²
Itabirito	7	3	21	2	3	6
Filitos	11	5	55	8	4	32
Mineral	11	5	55	9	4	36

En el campo muchas veces hay que hacer los calculos de razón de cargamento

$$\text{Volumen} = \text{Afas} * \text{esp.} * \text{altura} \quad (\text{m}^3)$$

$$\text{densidad (t/m}^3) * \text{Volumen (m}^3) = \text{masa (ton)}$$

$$\text{carga por barreno (gr.)} = Q$$

$$Q \text{ (gr.)} / \text{masa (ton)} = \text{razón de carga (gr. explo/ton. masa)}$$

Tabla 3.14 – Plano de carga en la mina MAC – material Filito

Furo	Prof. m	Tapon m	Tapon int. m	Carga fondo Kg	carga columna Kg	Agua	Inclina .
1	14	3.5		½	75		
2	14	3.5		½	75		
3	14	3.5		½	75		
4	14	3.5		½	75		
5	14	3.5		½	75		
6	14	3.5		½	75		
7	14	3.5		½	75		
8	14	3		½	75		
9	13	3.5		½	75		
10	14	3		½	75		
11	13	3.5		½	75		
12	14	3.5		½	75		
13	14	3.5		½	75		
14	14	3.5		½	75		
15	13	3		½	75		
16	12	3.5		½	75		
17	14	3.5		½	75		
18	14	3.5		½	75		
19	14	3.5		½	75		

Tabla 3.15 - Plano de carga en la mina de Tamandua – material Filito

Furo	Prof. m	Afas. m	Espac. m	ANFO	Booster	
1	10.10	4	8	97	1/2	
2	10.20	4	8	97	1/2	
3	10.20	4	8	97	1/2	
4	10.10	4	8	97	1/2	
5	10.30	4	8	97	1/2	
6	10.40	4	8	97	1/2	
7	10.20	4	8	97	1/2	
8	10.20	4	8	97	1/2	
9	10.10	4	8	97	1/2	
10	10.30	4	8	97	1/2	
11	10.30	4	8	97	1/2	
12	10.10	4	8	97	1/2	
13						

CAPITULO IV REVEGETACIÓN DE TALUDES

4.1 Objetivos

En esta parte del trabajo el objetivo es conocer los conceptos básicos sobre revegetación ya que es un punto importante en la estabilidad del talud, previniendo erosiones; además es un paso necesario e importante para devolver a un lugar su ecosistema similar al que tenía antes de iniciar los trabajos mineros.

4.2 Características

Según:

El Manual de Recuperação de Areas Degradadas pela Mineração, *recuperación* significa “retornar o sítio degradado a uma forma e utilização de acordo com um plano préestabelecido para o uso do solo”; es decir, que una condición estable será obtenida en conformidad con los valores ambientales, estéticos y sociales de la vecindad; también, que el sitio degradado tendrá condiciones mínimas de establecer un nuevo suelo y un nuevo paisaje. [17]

La recuperación que es proceso lento debe ser iniciada en la fase de planeamiento del proyecto minero y finaliza mucho tiempo después del término de la explotación, cuando las condiciones

entre los componentes bióticos y ambientales presenten condiciones de equilibrio. Esta utilización futura determinará las directrices y procedimientos que serán aplicados a la recuperación

Es necesario modelar taludes finales de manera que se consiga un perfil geotécnicamente estable, integrado en la morfología característica del entorno y que facilite la implantación de la vegetación.

4.3 Formas de control [20],[18]

Los impactos generados por la minería pueden ser controlados por la adopción de medidas preventivas y correctivas. El control preventivo puede evitar la ocurrencia o minimizar los efectos negativos de los impactos. Está comprobado que las medidas preventivas representan costos expresivamente menores comparados a los costos necesarios para realizar correcciones posteriores.

Desconsiderándose el aspecto económico, se observa que la prevención atenúa mucho la intensidad de determinados tipos de impactos inevitables.

Algunas medidas de control preventivo que pueden ser adoptadas en la minería son presentadas a seguir:

- colectas de semillas de especies vegetales con significativa importancia o con riesgo de extinción, para formación de viveros y posterior plantío en las áreas a recuperar
- mantenimiento de fajas de vegetación que unen las áreas a ser explotadas con áreas naturales vecinas, propiciando una mejor movilidad de la fauna local
- estudio de la posibilidad de criar en cautiverio o de otras formas de preservación de las especies animales amenazadas
- supresión mínima de la vegetación y desmate apenas de lo imprescindible en las frentes de

operación

- construcción de un sistema de drenaje en las frentes de trabajo, evitando la ocurrencia de procesos erosivos en las áreas sin cobertura vegetal
- preservación en depósitos específicos de suelo vegetal de las áreas desmatadas
- planeamiento de la localización de los “bota-foras”, evitando la utilización de las áreas mas nobles

4.4 Factores que condicionan la regeneración natural

La regeneración natural de las especies vegetales es un proceso normal, característico de cada especie, en perfecta sintonía con las condiciones ambientales y del medio.

La dinámica natural permitió la perpetuación de todas las especies vegetales durante los tiempos.

Las especies extintas naturalmente fueron en virtud de las alteraciones graduales del medio ambiente durante miles de años.

Partiendo por lo tanto del presupuesto que todas las especies se regeneran naturalmente, debemos analizar los factores que condicionan este proceso, para entender la dinámica natural.

Estos factores pueden ser agrupados en tres grupos, de acuerdo con la fase de regeneración natural:

- factores que determinan la disponibilidad de semillas/propágulos en el local a ocupar
 - producción de semillas/propágulos (floración, polinización, maduración)
 - dispersión de las semillas (vientos, pájaros, roedores, hormigas)
 - presencia de depredadores (pájaros, monos)
 - sanidad de las semillas (insectos, hongos)
- factores que afectan la germinación
 - humedad del substrato

temperatura

inibidores bioquímicos (alelopatía como el eucalipto)

depredadores (hormigas, pájaros, roedores)

- factores que afectan al crecimiento inicial

energía (luz)

agua

nutrientes

depredadores (hormigas, lagartijas, herbívoros)

hongos patógenos

micorrizas

Estos factores todos deben estar en un nivel apropiado para garantizar el surgimiento de una nueva planta. Como esto es muy raro, las especies vegetales más dependientes de condiciones favorables, normalmente producen un número elevadísimo de semillas o frutos.

No debe olvidarse que algunos ciclos en la naturaleza son bastantes largos.

Se observa por lo tanto en la naturaleza una dinámica bastante intensa de vida y muerte. Por lo tanto esta dinámica no es aleatoria. La observación minuciosa muestra que para cada evento hay una causa y un efecto bien definido, demostrando la sustentabilidad del sistema.

En áreas donde la vegetación es destruida por el fuego o mismo corte, mas sin acciones antrópicas posteriores, se puede observar un mecanismo de regeneración natural basado en la rebrota.

4.5 Fases de Sucesión Natural [19]

La regeneración natural puede ser un proceso de recuperación de áreas degradadas, y que pueden ser obtenidos buenos resultados si se observan algunos puntos básicos.

Al pretender recuperar una vegetación de una área degradada, es fundamental el conocimiento de las especies que componen la formación del hábitad en este ambiente, y de las especies importantes para la evolución de esta asociación. No es suficiente con los nombres, es necesario conocer las características relativas a la regeneración natural y al ambiente óptimo de crecimiento que necesitan.

Para el proceso de regeneración natural es fundamental conocer la forma y dispersión de las semillas de cada especie.

Considerando un caso extremo de degradación de la vegetación, estando esta prácticamente ausente, la secuencia de establecimiento vía regeneración natural puede ser la siguiente:

- Las primeras especies a establecerse después de la destrucción total de la vegetación, son
Especies cuyas semillas o frutos son dispersadas por el viento, y que germinan en suelo mineral.
Estas semillas normalmente no tienen endosperma voluminoso; son las especies anemócoras o con semillas persistentes
- Cuando los primeros arbustos se desarrollan, estos pasaran a constituir posada para pequeños pájaros que se alimentarán de frutos y semillas pequeñas, y que después las eliminarán a través de las heces. Las semillas de esta especie no germinarán a pleno sol, siendo favorecidas por el leve sombreamiento de las gramíneas y arbustos; son las especies ornitócoras
- En una fase mas avanzada de esta sucesión, esta vegetación arbustiva con plantas jóvenes de especies arbóreas, sirve de abrigo para roedores o aves de mayor porte.
- Son así introducidas las semillas (especies zoócoras) por tres vías:
semillas para ser consumidas que son perdidas (por animales como gralha-azul)

semillas ingeridas y defecadas (ficus)

semillas adheridas al cuerpo (desmodium)

- La condición básica para la eficiencia de estos procesos es la fuente de las semillas.
- Muchas veces la regeneración falla porque faltan las matrices productoras de semillas o los vectores de dispersión de estas.
- La segunda premisa importante es la exclusión del área de herbívoros de grande porte, principalmente animales domésticos, y obviamente ausencia de fuego.

4.6 Estudio y Precolonización para la Revegetalización de los Suelos [19]

4.6.1 Estudio

- metodología del estudio

se analiza las dificultades ligadas a:

los suelos (características del substrato, inclinación de los taludes)

el clima

la vegetación circundante

informaciones de los organismos agrónomos locales (problemas locales específicos

para el cultivo de los vegetales)

- dificultades ligadas a los suelos

- geometría de los aterros

la inclinación, altura de los bancos, grado de compactación

- características físicas

tipo de suelo - en brasil son suelos ferríferos típicos

grado de alteración - suelos ecuatoriales bien alterados, muy sensibles a

la alteración hidráulica

materia orgánica - suelos pobres en materia orgánica y poseen poca

capacidad de retención de elementos fertilizantes

retención de agua

pH...

- dificultades ligadas al clima
 - clima ecuatorial caliente y húmedo (según la época del año)
 - precipitaciones atmosféricas vs evaporación
 - en los suelos retenedores de poca agua (taludes inclinados, poca capacidad de retención de los substratos) la evaporación alta crea rápidamente condiciones áridas a pesar de la frecuencia e importancia de las precipitaciones atmosféricas

- la vegetación local
 - inventario florístico local
 - si la vegetación existente es económicamente inaccesible, se procede a importar una flora con características similares a las del local que les permita la adaptación.

- informaciones de los organismos agrónomos locales
 - información sobre enfermedades y posibles invasores

4.6.2 Precolonización

- técnicas empleadas
 - sembradura hidráulica (hidroseeding) dividiéndose en una pasada de semillas y una pasada de fertilización/consolidación
- productos auxiliares empleados
 - necesidad de luchar contra la erosión y fijar las semillas:
 - utilización de dosis importantes de “mulch” asociadas a un fijador;
 - el “mulch” o serapilheira, esta elaborado de fibras vegetales, el se constituye de pequeños elementos duros que producen en el terreno una mini red de fibras para impedir desmoronamiento y de elementos finos que permiten mantener un ambiente húmedo en torno de las semillas.
 - dosis: 600 a 800 Kg./hectárea
 - el fijador es a base de Alginate y de Polímeros sintéticos que poseen un poder de retención de agua;
 - dosis: 500 Kg./hectárea
 - necesidad de favorecer el desenvolvimiento de la vida microbiana, de mejorar la capacidad del sustrato para retener los elementos fertilizantes y la humedad en cierta medida.
 - tratar de fornecer materia orgánica muy concentrada en humus, muy evoluída y con lenta degradación en el suelo
 - necesidad de un fornecimiento nutritivo durante un largo tiempo;
 - primero durante la implantación y después durante el crecimiento
- mezcla empleada
 - se necesita una diversidad de especies todas seleccionadas para que resistan las diferentes dificultades estudiadas

- época de los tratamientos
- sembradura (implantación) más fertilizante al inicio de la estación de las lluvias
- fertilizantes dos o tres meses después del período de lluvias
- fertilizantes al sembrar los árboles

4.7 Preparación del suelo [18],[17]

Para posibilitar la implantación de cobertura vegetal en el área, se debe inicialmente realizar algunas operaciones de preparo del suelo. Esas medidas son para el perfecto acondicionamiento del suelo para recibir las semillas o mudas que serán plantadas.

La primera operación de preparo de suelo es la aireación del suelo o revolvimiento, lo que posibilitará una mejor descomposición superficial del terreno.



Foto 4.1 - Preparación del Talud con tractor

En muchos casos (terrenos irregulares, alta declividad) el terreno imposibilita realizar estos tipos de trabajo mecanizados para preparar el suelo; entonces se debe intentar otro tipo de preparación, abertura de huecos para el plantío de mudas, con colocación de tierra orgánica y adubos; en lugares donde se realizará la hidrosiembra, el preparo preliminar consiste en simplemente escarificar la superficie del terreno para recibir la semilla.

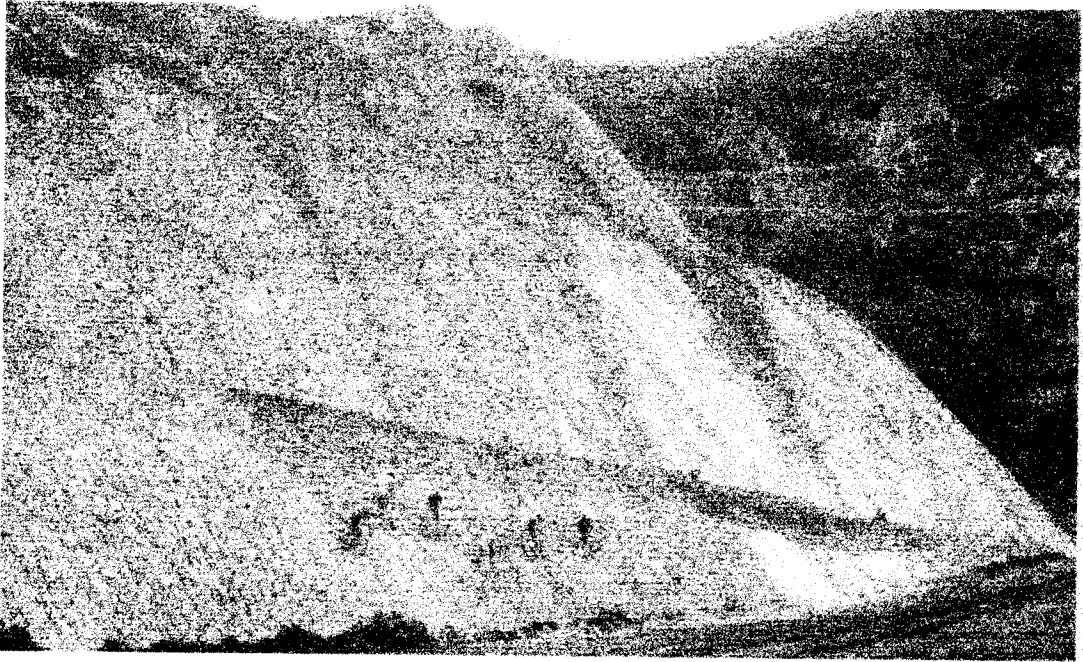


Foto 4.2 - Preparación manual de los terrenos para recibir la semilla

Se pueden hacer pequeñas voladuras para que las raíces de los árboles puedan penetrar y adherirse mejor, siempre garantizando la integridad estructural y estabilidad de los taludes, pues de lo contrario el tratamiento sería más perjudicial que beneficioso

En ciertos casos, hay que corregir la pendiente del talud

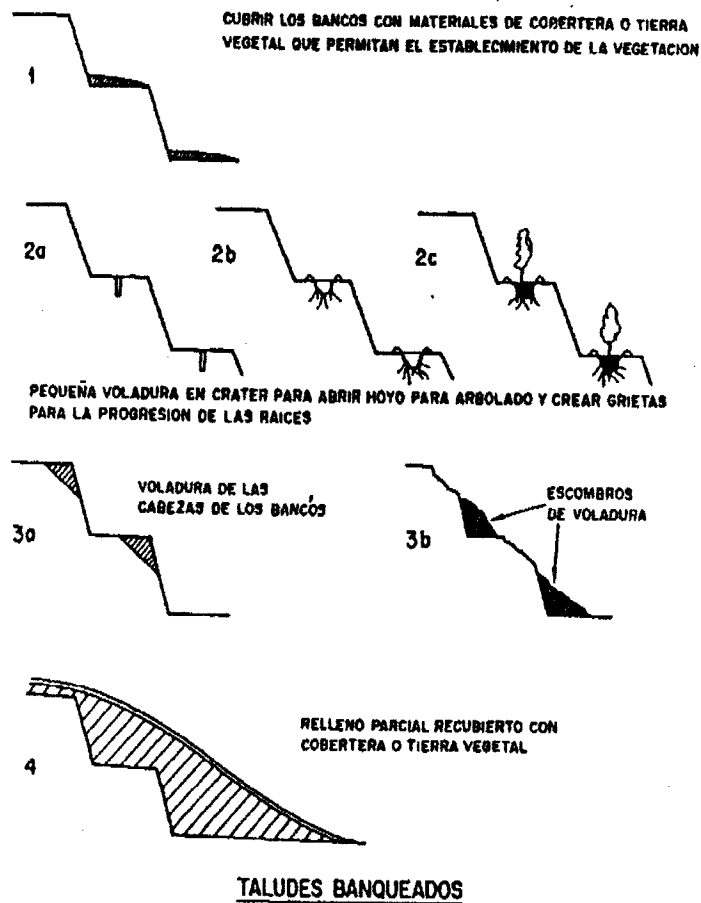


Fig. 4.1 Técnicas para corregir el talud antes de sembrar

4.8 Dinámica de los vegetales [19]

- No al desarrollo homogéneo en línea recta, sí a la dinámica heterogénea
- Evolución natural (aire, agua, suelo, micro y macro organismos) lo que implica auto sustentabilidad en regiones tropicales

- Dispersión – fauna, viento...

- Establecimiento

Ciclo de vida; germinación, sobrevivencia, crecimiento y reproducción

depende de: topografía, suelo, humedad, microclima, ausencia de depredadores y fuego.

- Competición: pioneras hasta que el ambiente se regulariza

secundarias ocupan lugar de las pioneras

El modelo de reforestamiento sub-seccional es más eficiente y barato que los modelos tradicionales.

La vegetación rastrera presenta un rápido crecimiento, propicia una buena cobertura al suelo y auxilia en el control de la erosión.

Las principales especies de vegetación rastreras pertenecen a las familias de las gramíneas y leguminosas.

Las gramíneas

tienen buena capacidad para reestructurar el suelo debido a su sistema radicular.

Las leguminosas

auxilian en la recuperación de fertilidad, debido a su capacidad de fijar nitrógeno, y también por la gran cantidad de masa verde que producen e incorporan al suelo.

evitan el uso de fertilizantes

son especie pionera

asociadas a hongos micorrízicos aprovechan F, Zn, Mn, Cu

aumentan la biomasa

atrapan nitrógeno del aire y lo fijan al suelo

La revegetación con especies arbustivas y arbóreas cumple los objetivos de la recuperación en un plazo mayor, si se compara al uso de vegetación rastrera; por eso es necesario la utilización de esos dos tipos de vegetación en dos etapas distintas.

Las especies zoocóricas (atractivas de animales dispersores) promueven el enriquecimiento de la vegetación, sin necesidad de realizar una segunda etapa de siembra para enriquecimiento de la capocira

Los árboles cuando se desenvuelven ayudan, en el control de la erosión y tienen capacidad de promover la atracción de la fauna para el área.

En áreas donde especies arbustivas y arbóreas nativas son utilizadas, el potencial para ocurrencia del proceso de sucesión natural es muy grande y el tiempo necesario para atingir un nuevo equilibrio es menor que en áreas con vegetación rastrera y árboles exóticas

La sembradura directa de especies arbóreas constituye una forma eficiente y de bajo costo para la recuperación de las áreas degradadas

Normalmente entre las especies de árboles las más indicadas según la región son: acacia negra, eucalipto, pinas

El eucalipto como especie pionera puede constituir una alternativa económica para la implantación de la primera etapa de la recuperación

La regeneración natural, en áreas próximas a florestas naturales, puede garantizar por sí sola la recuperación de la vegetación de las áreas circundantes

La utilización de especies exóticas en la primera etapa no compromete la recuperación de las florestas

4.9 Caso Prático

El proceso comienza cuando el talud es acabado, ya sea en la mina o en las pilas de esteriles, dependiendo de esto será la fijación de las semillas.

En terreno suave se procede a hacer surcos para fijar las semillas y posteriormente se agrega fertilizantes y agua.

Lo importante es el orden de siembra, primero las gramíneas y leguminosas que van a servir para nutrir el terreno, y posteriormente plantar árboles, especialmente nativos y que sean de rápido crecimiento.

En minas de Fe se usa sacos de aniagem {(capim picado + serragem + suelo) + fertilizantes + semillas} restablecen el horizonte A, y en algunos casos son fijados al suelo con ganchos.

En minas de bauxita se utiliza serapilheira (que es una mezcla de hojas, ramas, troncos, organismos reproductores de vegetación) + topsil (camada fértil de suelo)

CAPITULO V

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En la primera parte sobre el Diseño del Talud, se muestra una metodología que sigue la empresa y que es muy importante en la vida de la mina y seguridad del personal que en ella trabaja.

Aquí tiene mucha importancia la recolección de los datos, es decir, el muestreo, el mapeamiento de la mina, ya que si uno tiene mal esta parte fracasa toda la operación.

Al obtener los resultados, es necesario comparar con situaciones similares ocurridas con anterioridad y por supuesto un reconocimiento en el campo antes de pasar los resultados a otra área de trabajo.

La segunda parte, Control en el Uso de Explosivos, las instrumentaciones que se hicieron muestran que el control que se lleva es muy riguroso (pag. 97 y 103 a 105); debido a que la velocidad resultante (V_r) menor de 3 mm/s está muy por debajo de los límites establecidos con el condominio de $V=7$ mm/s y por supuesto

mucho mas lejos de los límites legales $V=15$ mm/s. Lo mismo ocurre con la presión que no pasa de 40Pa siendo el límite 100Pa.

Esto podemos apreciar en los gráficos de las vibraciones tanto del primer trimestre (pag. 101 y 102) como del segundo trimestre (pag. 114 y 115); se observa también un apreciable aumento en las instrumentaciones en el segundo trimestre.

Por otro lado podemos observar la diferencia de en el sistema de cargamento de la MAC y TAM, (pag. 117) que a pesar de trabajar el mismo material, as condiciones y parámetros varían para cada, en especial TAM que utiliza dispositivos no eléctricos en sus mallas para disminuir las vibraciones.

La diferencia de dispositivos en la detonación es una gran ayuda en TAM para disminuir sus vibraciones, pero también hay que controlar la iniciación, retardos extras secuencia de detonación.

Lo principal para disminuir las vibraciones en TAM es detonar un barreno a la vez siempre comenzando por el lado más libre y utilizando el sistema no detonante con retardos de 50 ms en el fondo y 250 ms superficie.

La tercera parte, la revegetación, es un tema muy importante no solo por estar de moda, o por leyes muy fuertes en ciertos países que obligan, sino que realizando la revegetación en el momento preciso ayuda en la estabilidad del talud evitando gastos posteriores y posibles accidentes.

La revegetación se debe hacer muy seguida al acabamiento del talud para evitar erosiones y gastos de tractores en el mantenimiento del talud, además se debe

tener presente las épocas de lluvia para disminuir costos en agua. En el caso de ciertas minas de la empresa que trabajan junto a condominios, no solo es necesario sembrar sino que es sumamente importante esta etapa para poder dejar taludes que no afecten la estabilidad del terreno y causen daños estructurales posteriormente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El diseño del talud es una etapa muy importante, en la elaboración de un plano de explotación y de la vida misma de la mina, ya que da los límites con los cuales se debe trabajar, evitando accidentes y gastos por deslizamientos.
2. Dentro de los cálculos un factor muy importante es el correcto muestreo que se debe tener de la mina en la etapa de exploración, para no caer en erros, lo que produce gastos no programados, y conforme se avanza en la explotación se debe continuar con el muestreo y adicionarlos al conjunto de datos de la etapa de exploración.
3. Es mas económico tener un sistema de drenaje y bombeamiento para trabajar con un talud sin agua, debido a la seguridad y disminución de estéril a retirar para estabilizar el talud. Sobre todo porque los mecanismos de ruptura se activan o incrementan su movimentación con la presencia del agua.

4. Al trabajar con explosivos es necesario un conocimiento de la geología del macizo, especialmente consistencia y estructura, ya que esos parámetros influyen directamente en la detonación.
5. El monitoriamiento se debe realizar aún si no hay reclamos, ya que de esta manera la empresa lleva un control de sus trabajos y además si ocurren posibles reclamos, la empresa tiene una base para poder defenderse; cuando ya ocurren los reclamos, además del monitoriamiento con sismógrafos se puede utilizar monitores de trincas, que se ponen en las fisuras de las casas de los reclamantes y se registra la medida antes y después de la detonación.
6. La utilización de programas de computación como Sabrex, GolFrag, entre otros; es necesario para mejorar las detonaciones y disminuir los gastos, tanto en la detonación como en la etapa de cargamento, transporte y trituración.
7. La malla, razón de cargamento y dispositivos de detonación van a variar según el material que se trabaje, lo importante es tener una idea base de cómo influyen (pag. 70 y 116) , y hacer las variaciones en las posteriores detonaciones.
8. La etapa de la revegetación debe ser seguida al acabamiento del talud, ya que se evitan gastos de mantenimiento del talud con tractores, y se puede trabajar con ángulos más fuertes.
9. En la siembra se debe seguir los pasos y el tipo de vegetación adecuada, para mejores resultados y disminuir gastos, intentando trabajar de acuerdo a las épocas de lluvia.

ANEXOS

Tabla 2.2 - GRADO DE RESITENCIA/COHERENCIA

Grado	Descripción	Características	Resistencia Uniaxial (σ_c) Estimada (MPa)
R0	Extremadamente blanda y suelo estructuralmente cohesivo, rígido a duro	- Penetrada por la punta del dedo pulgar. - Moldcada por las manos. - Fácilmente penetrada por la navaja y martillo. - Excavada por equipamiento manual	0,20 – 1,0
R1	Muy Blanda	- Desmiga fácilmente por impacto de martillo. - Marcada fácilmente por punta fina de martillo. - Raspada fácilmente por navaja. - Desplaza a lo largo de la foliación por la presión de los dedos. - Bordes de los fragmentos fácilmente quebradas - Pequeños fragmentos (2 cm³) no quiebran - Excavación por equipamientos mecanizado	1,0 – 5,0
R2	Roca Blanda	- Se quiebra por impacto del martillo. - Marcada por impacto firme del martillo. - Bordes de fragmentos quebrados por presión. - La navaja provoca surco acentuado. - Excavación por equipos mecanizados, en algunos casos detonaciones.	5,0 – 20,0
R3	Medianamente Resistente	- Especímenes de mano quebrados por martillo. - Bordes finas quebradas con cierta dificultad. - Superficie poco raspable por navaja. - Desmonte por detonaciones.	20,0 – 50,0
R4	Resistente	- Especímenes de mano requieren algunos golpes con el martillo para ser quebrados. - Bordes de fragmentos difícilmente quebrados. - Superficie difícilmente raspada por navaja. - Desmonte por explosivos.	50,0 – 100,0
R5	Muy Resistente	- Especímenes de mano requieren muchos golpes con martillo para ser quebrados. - Fragmentos poseen bordes cortantes que resisten al corte por lámina de acero - Desmonte con explosivos.	>100,0

Nota: martillo de geólogo
navaja de acero

Tabla 2.3 - RQD

Rock Quality Designations		
Grado	RQD (%)	Descripción
Q5	90 – 100	Excelente
Q4	75 – 90	Buena
Q3	50 – 75	Regular
Q2	25 – 50	Pobre
Q1	0 – 25	Muy Pobre

Tabla 2.5 - GRADO DE FRACTURAMIENTO

Grado	Descripción	Espaciamiento cm
F1	Macizo	> 200
F2	Poco Fracturado	200-60
F3	Moderadamente Fracturado	60-20
F4	Muy Fracturado	20 – 6
F5	Intensamente Fracturado	6 – 2
F6	Fragmentado	< 2

Tabla 2.4 - GRADO DE ALTERACION

Grado	Término	Descripción
F	Roca Sana (Frchs)	Alteración mineralógica nula a incipiente. Minerales conservan brillo original, color y clivaje. Eventual decoloración en las discontinuidades. Foliación visible y cerrada. Resistencia original.
S	Roca poco alterada (Slightly Weathered)	Alteración mineralógica perceptible, colores opacos. Leve decoloración y oxidación de la matriz a lo largo de las discontinuidades. Foliación visible y cerrada. Juntas cerradas, paredes ligeramente alteradas. Resistencia original de roca, parcialmente afectada por la alteración.
M	Roca moderadamente alterada (Moderately Weathered)	La matriz se presenta descolorida, con evidencias de oxidación. Juntas abiertas (< 1,0 mm) y oxidadas, pudiendo tener material más alterado a lo largo de las discontinuidades. Foliación realzada y afectada por el intemperismo.
H	Roca muy alterada (Highly Weathered)	Alteración mineralógica muy acentuada. Matriz totalmente oxidada y colores muy modificados. Fracturas abiertas (2 a 5 mm) y oxidadas, rellenas por materiales alterados. Foliación realzada por el intemperismo. Desplazamientos a lo largo de la foliación. Resistencia muy afectada por la alteración.
C	Roca completamente alterada (Completely Weathered)	Todo material está completamente alterado a suelo estructurado. Extremadamente descolorido, minerales resistentes quebrados. Foliación preservada. Juntas no visibles. Desintegra en agua poco después de contacto con ella.
R	Suelo residual (Residual Soil)	Material totalmente transformado en suelo. Estructura de la roca matriz destruida. Prontamente desintegrado en agua.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Djalma Guimaraes, Evolução Policíclica do Quadrilátero Ferrífero: Uma Análise fundamentada no conhecimento actual da Geocronologia U-Pb e Geoquímica isotrópica Sm-Nd, Escola de Minas, Ouro Preto, Brasil.
- 2.- Geonomos, Evolução Sedimentar do Super Grupo Minas: 500 Ma de Registro Geológico no Quadrilátero Ferrífero, UFMG, Brasil.
- 3.- PRF/RSV – GETP, Noções Básicas de Estabilidade de Taludes de Mina: Treinamento interno, MBR, Brasil, 98.
- 4.- Relatorios Anuales, Trimestrales, Mensuales de la MBR.
- 5.- Figueiredo Ferraz, Consultoria e Engenharia de projeto Ltda., Proyectos de Geotecnia de las Minas.
- 6.- E. Hoek & J. W. Bray, Rock Slope Engineering, The institution of Mining and Metallurgy, London, 1977.
- 7.- K. Tersaghi, Mecanismos dos Escorregamentos de terra, Hawward University, USA, traducción : Ernesto Pichler, Escola Politecnica de Sao Paulo – USP, 1967.
- 8.- Prof. Fernando Lage Ladeira, Projeção Estereográfica em Mecânica das Rochas, Escola de Minas, UFOP, Brasil, 1998.
- 9.- Yociteru Hasui, José Augusto Mioto, Geologia Estrucutal Aplicada, ABGE – Associação Brasileira de Geología de Engenharia, Votorantim – S.A. Indústrias Votorantim e Companhia Brasileira de Alumínio, Brasil, 1992.
- 10.- Dr. Ing de Minas Galo Humberto Sosa Gonzalez, Seminario Explotación de Canteras y Transporte Minero, Curso sobre métodos de diseños de canteras, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 1982.
- 11.- Pit Slope Manual, CANMET: Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Supply and Services Canada, Ottawa, Canada, 1977.
- 12.- Manuel Bustillo Revuelta/ Carlos Lopez Jimeno, Manual de Evaluación y diseño de Explotaciones Mineras, Graficas Arias Montano, S.A., Madrid.
- 13.- LRL – GETP, Desmonte y Acabamento de Taludes Rochosos com o uso de Explosivos en Sreas Urbanas, MBR, Brasil, 99.
- 14.- Manual Du Pont para o uso de explosivos, Du Pont do Brasil S.A., Sao Paulo, 1977.
- 15.- PhD. Cedric E. Gregory, Explosives for North American Engineers, Trans Tech Publications, Federal Republic of Germany, USA, 1984.

- 16.- I Workshop de Perfuração e Desmonte de Rochas da UFMG, Centro de Estudos de Mineração, Gremio Minero – Metalúrgico Louis Ensh, Escola de Engenharia, Brasil, 1999.
- 17.- Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales, Instituto Tecnológico Geo-Minero de España, Rivadeneira S.A., Madrid, 1996.
- 18.- Relatório e Plano de Controle Ambiental, MBR, Basil, 1996.
- 19.- I Simposio Sul-Americano e II Simpósio Nacional, Recuperação de Areas Degradadas, FUPEF: Fundação de Pesquisas Florcstais do Paraná, brasil, 1994.
- 20.- Mineração & Meio Ambiente, Institute Brasileiro de Mineração – IBRAM, Brasilia, DF, Brasil, 1992.