

**APLICACIÓN DE SOFTWARE MINERO SURPAC-MINESHED PARA EL DISEÑO DE  
LA MINA DE CALIZA “PEÑA BLANCA”**

**HÉCTOR ARTURO MENDOZA COTES**  
**Cód.52049694**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA**  
**FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO**  
**ESCUELA INGENIERÍA EN MINAS**  
**SOGAMOSO- BOYACÁ**  
**I – 2016**

**APLICACIÓN DE SOFTWARE MINERO SURPAC-MINESHED PARA EL DISEÑO DE  
LA MINA DE CALIZA “PEÑA BLANCA”**

**HÉCTOR ARTURO MENDOZA COTES**  
**Cód.52049694**

**Proyecto modalidad monografía requisito para optar al título de Ingeniero en Minas.**

**DIRECTOR DEL PROYECTO:**  
**LUIS ANGEL LARA GONZALES**  
**Ingeniero Industrial**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA**  
**FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO**  
**ESCUELA INGENIERÍA EN MINAS**  
**SOGAMOSO- BOYACÁ**  
**I – 2016**

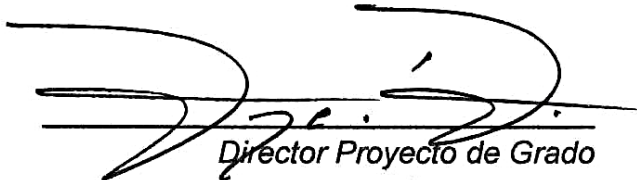
NOTA DE ACEPTACIÓN:

---

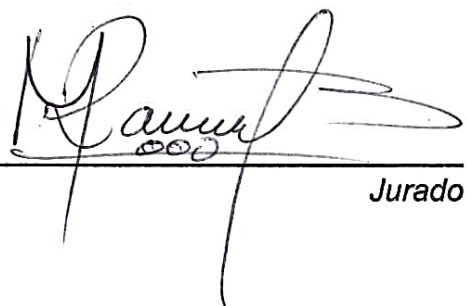
---

---

  
Director de Escuela

  
Director Proyecto de Grado

  
Jurado

  
Jurado

Sogamoso, 7 de julio 2016

“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO, RESIDE EN ELLA MISMA, POR LO TANTO NO RESPONDE A LAS OPINIONES EXPRESADAS EN ESTE PROYECTO”.

SE AUTORIZA LA REPRODUCCION DEL MISMO INDICANDO SU ORIGEN

## DEDICATORIA

*A Dios por ser el baluarte de todo mi existir, guía y apoyo constante en cada uno de los proyectos que emprendo.*

*A mi padre NICOLAS MENDOZA TORRES, por su reflejo de amor, comprensión, dedicación y lucha incansable, en cada meta que me he propuesto a trazar a lo largo de mi vida.*

*A mi madre LUISA ISABEL COTES, la reina de mi vida por su afecto, sabiduría, tolerancia, y paciencia que han hecho lo que soy hoy día.*

*A mi hermana KATIUSKA VANESA MENDOZA COTES, por su apoyo desde mis inicios en este gran proyecto, por sus consejos y confianza que deposito día a día en mí a lo largo de mi carrera y por supuesto por su amor infinito que a pesar de la distancia desde el cielo lo siento.*

*A la universidad por abrirme las puertas para culminar esta etapa con profesionalismo.*

*Por su puesto a XILENE TATIANA PADILLA ACOSTA, por su amor incondicional, mi familia Morshí, abuelos, tíos, primos, mis docentes, mis categóricos y catedráticos amigos Daniel Morales y Miguel Pinilla, que de una u otra manera han aportado al logro de este sueño y que con oraciones me ayudaron a seguir día tras día.*

*HÉCTOR ARTURO MENDOZA COTES*

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES	17
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo general	17
1.1.2. Objetivos específicos .	17
1.2 SITUACIÓN JURIDICA.	17
1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	17
1.4 INFORMACIÓN SECUNDARIA UTILIZADA	18
1.5 LOCALIZACIÓN	18
1.6 COORDENADAS DEL AREA DE ESTUDIO	19
1.7 VÍA DE ACCESO	20
1.8 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN	20
2. CONDICIONES NATURALES, DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA	21
2.1 ASPECTOS FÍSICOS.	21
2.1.1 Geosféricos.	21
2.2.2 Geología Regional.. .	21
2.2.3 Geología local..	22
2.2.4 Geología estructural.	24
2.2.5 Geomorfología..	24
2.2.6 Geología del yacimiento.:	24
2.3 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS	25
2.3.1 Precipitante.	25
2.3.2 Temperatura.	25
2.3.3 Humedad relativa.	25
2.3.4 Evaporación..	25
2.3.5 Zonificación climática.	25
2.4 ASPECTOS BIÓTICOS	26
2.4.1 Vegetación. .	26

2.4.2Fauna.	26
3. CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO	27
3.1CLASIFICACIÓN GEOMEÁNICA DEL MACIZO ROCOSO.	27
3.1.1 Índice geológico de resistencia (GSI).	29
3.2ESTABILIDAD GEOTÉCNICA..	30
3.2.1 Análisis cinemático	30
3.2.2 Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla planar..	31
3.2.3Análisis sistemático de estabilidad mecanismo de falla por cuña. .	34
3.2.4 Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla por volteo (toppling).	36
4. EVALUACIÓN Y MODELO GEOLÓGICO	38
4.1 BASE DE DATOS	38
4.2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA CANTERA 7 MINA PEÑA BLANCA	39
4.2.1Caracterización de los bloques .	40
4.2.2Diseño malla muestreo	42
4.2.2.1. Creación de perfiles geológicos	43
4.2.2.2. Creación de base de datos geológica.	44
4.2.2.3. Creación de sólidos cuerpos rocoso mina Peña Blanca ..	45
5. DISEÑO Y PLANEAMIENTO MINERO.	48
5.1 PROCESO DE MERCADEO	48
5.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	48
5.2.1Evaluación de Alternativas para la selección del método de explotación.	49
5.2.1.1Alternativa uno.	50
5.2.1.2Alternativa dos.	50
5.3DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	50
5.3.1Dimensión geométrica.	51
5.3.2Evaluación geomecánica del método de explotación.	52
5.3.3Organización bloque y frente de explotación Preparación del terreno:	53
5.3.4Servicios mina	53
5.3.4.1 Extracción del material..	55
5.3.4.2 Descapote.	55
5.3.4.3Arranque.	55
5.3.4.3.1Voladuras:	56

5.3.4.4Cargué transporte de volquetas	62
5.4PLANEAMIENTO ESTRATÉGICO CON SOFTWARE	63
5.4.1Software surpac.	63
5.4.2Software Minesched .	67
6. VÍAS Y ACCESO .	75
6.1. VIAS	75
6.2 PISTAS, BERMAS, ZANJAS Y CUNETAS	77
6.3. MANEJO Y DISPOSICIÓN DE ESTÉRILES (Botadero)	79
6.4. PARAMETROS DE DISEÑO.	80
6.5. INFRAESTRUCTURA.	80
6.6. PLAN DE CIERRE DE LA EXPLOTACIÓN Y ABANDONO.	81
6.6.1. Alcance.	81
6.6.2. Cierre inicial.	81
6.6.3. Actualizaciones al plan de cierre inicial.	81
6.6.4. Cierre progresivo.	82
6.6.5. Cierre temporal.	82
6.6.6. Plan de cierre final. .	82
6.6.7. Actividades de Post- cierre. .	83
7. MEDIDAS AMBIENTALES DEL PROYECTO	84
7.1. PLAN DE OBRAS DE RECUPERACIÓN GEOMORFOLÓGICAS PAISAJÍSTICA Y FORESTAL DEL SISTEMA ALTERADO	84
8. RENDIMIENTO DE EQUIPOS Y COSTOS DE PRODUCCIÓN	85
8.1. INVERSIONES	85
8.1.1. Inversiones existentes.	85
8.1.2. Inversiones a realizar.	85
8.2. FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN.	85
8.3. AMORTIZACIÓN	85
8.4. DEPRECIACIÓN	86
8.5. COSTOS DE OPERACIÓN.	86
8.5.1. Costos fijos.	86
8.5.2. Equipo requerido.	87
8.5.3. Costos.	87



8.5.4. Rendimiento de equipos.	88
8.5.5. Producción mensual	88
8.5.6. Producción de caliza.	88
8.5.7. Costos de equipos..	89
8.5.8. Costos de personal. .	90
8.5.9. Otros costos.	91
8.5.10. Resumen de costos..	92
9. CONCLUSIONES	93
10. RECOMENDACIONES.	94
BIBLIOGRAFIA	95

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del proyecto minero.	18
Figura 2. Área minera para cemento blanco.	19
Figura 3. Área de intervención	20
Figura 4. Geología Regional departamento de Antioquia	22
Figura 5. Nomografía del índice geológico de resistencia	29
Figura 6. Análisis cinemática de estabilidad de taludes	31
Figura 7. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla planar A1	32
Figura 8. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla planar A2	33
Figura 9. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla por cuña A1	34
Figura 10. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla por cuña A2	35
Figura 11. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla por volteo (toppling)A1	36
Figura 12. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla por volteo (toppling)A2	36
Figura 13. Pozos de exploración para mármoles “Peña Blanca”	38
Figura 14. Perfil interpretativo en la zona sur de los mármoles	39
Figura 15. Bloques dentro de la zona de estudio.	41
Figura 16. Diseño de malla cantera 7 mina “Peña Blanca”	42
Figura 17. Perfiles geológicos cantera 7 mina “Peña Blanca”	43
Figura 18. Diseño base de datos geológica	44
Figura 19. Despliegue de barrenos base de datos geológica	44
Figura 20. Diseño solidos cuerpos de mármol, esquistos	45
Figura 21. Creación del modelo de bloques	46
Figura 22. Diseño identidad atributos	47
Figura 23. Avance de explotación en bancos descendente	50
Figura 24. Perfil simplificado de la cantera, forma de avance de las labores	51
Figura 25. Ancho de banco zona operativa	52
Figura 26. Mallas de perforación para producción y descapote	56
Figura 27. Esquema de perforación “tres bolillos”	57
Figura 28. Diseño de la malla de perforación	59
Figura 29. Diseño de voladura de precorte	60
Figura 30. Diseño de la voladura de producción	60
Figura 31. Conexiones entre barrenos en superficie	61
Figura 32. Simulación de la voladura	61
Figura 33. Análisis de resultados	62

Figura 34. Corte de la topografía con modelo de bloques	64
Figura 35. Corte topografía con modelo de bloques	65
Figura 36. Corte topografía con el modelo de bloques y sus atributos	66
Figura 37. Colores por atributos en 3D	66
Figura 38. Cantera 7 geometría final mina “Peña Blanca”	67
Figura 39. Importación de modelo de bloques (cantera_7.mdl)	68
Figura 40. Categorización de los materiales de clase	69
Figura 41. Diagrama de barras de los atributos destinados a los materiales de clase	69
Figura 42. Configuración del planeamiento en Minesched	70
Figura 43. Volúmenes de extracción según rangos de elevación	71
Figura 44. Destino de movimientos de los materiales de clase	71
Figura 45. Configuración de parámetros de producción.	72
Figura 46. Gráfico de barras de la extracción de materiales en los diferentes periodos	72
Figura 47. Tabla de movimiento de los materiales de clase en las diferentes fechas	73
Figura 48. Tabla de producción detallada en Minesched	73
Figura 49. Secuencia grafica de la explotación	74
Figura 50. Secuencia grafica de explotación en perfil, observando los rangos de elevación.	74
Figura 51. Punto específico acceso a más de un banco	75
Figura 52. Visual en planta vías, mina Peña Blanca	76
Figura 53. Diseño de sección de vías para camiones de 30 Ton.	77
Figura 54. Vías para tránsito de camiones	77
Figura 55. Vías para cruce de camiones	78
Figura 56. Bermas de seguridad	78
Figura 57. Vista botadero principal	79
Figura 58. Descargas hacia el talud y sobre el botadero	79
Figura 59. Panorámica botadero	80
Figura 60. Cierre final y terminación de la operación	83

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Límites título minero.	19
Cuadro 2. Zonificación climática	25
Cuadro 3. Rock Mass Rating system	27
Cuadro 4. Resultados clasificación RMR	28
Cuadro 5. Corrección RMR por orientación de las continuidades	28
Cuadro 6. Determinación de la clase del macizo rocoso	29
Cuadro 7. Principales familias de discontinuidades	30
Cuadro 8. Resultados análisis cinemáticos	37
Cuadro 9. Análisis químico tomadas de la base de datos	39
Cuadro 10. Atributos para cada bloque	46
Cuadro 11. Parámetros para el diseño de voladuras	58
Cuadro 12. Listado de maquinaria utilizada en la mina para los procesos.	63
Cuadro 13. Inversión depreciada	86
Cuadro 14. Equipo minero básico	87
Cuadro 15. Rendimiento teórico de equipos mineros y porcentaje de utilización	88
Cuadro 16. Costos de posesión de los equipos mineros	89
Cuadro 17. Costos de operación de los equipos mineros	89
Cuadro 18. Costos personal directo	90
Cuadro 19. Costos de infraestructura de superficie	91
Cuadro 20. Costos estudios varios	91
Cuadro 21. Resumen de costos unitarios	92

## LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Vegetación en la zona de estudio.	26
Imagen 2. Pastos actividades ganaderas.	26
Imagen 3. Panorámica Cantera 7	40
Imagen 4. Talud principal en explotación mina “Peña Blanca”	49
Imagen 5. Servicio frente de explotación abierto	53
Imagen 6. Track drill	54
Imagen 7. Excavadora volvo	54
Imagen 8. Tractor D9 Cat	54

## **LISTA DE ANEXOS**

- ANEXO 1. PLANO TOPOGRAFIA LOCAL
- ANEXO 2. PLANO GEOLOGIA LOCAL FINAL
- ANEXO 3. PLANO PERFILES GEOLOGICOS
- ANEXO 4. PERFILES GEOLOGICOS
- ANEXO 5. BASE DE DATOS SURPAC

## RESUMEN

En el presente proyecto se describirá la *APLICACIÓN DE SOFTWARE MINERO SURPAC-MINESHED PARA EL DISEÑO DE LA MINA DE CALIZA "PEÑA BLANCA"*, este se orienta en razonar las técnicas de proyección minera en depósitos a cielo abierto; A continuación todos los capítulos que conforman el siguiente estudio.

Capítulo 1. En su inicio se hace la descripción general y geográfica del área de trabajo, definiendo características principales de su localización, objetivos a desarrollar, situación jurídica, trabajo y metodología.

Capítulo 2. Aquí se define las condiciones naturales, descripción y caracterización física del área, la geología y la geomorfología que a partir de ello se describe el material útil dentro del polígono de la cantera.

Capítulo 3. Se realiza la clasificación del macizo rocoso teniendo en cuenta las propiedades físico-mecánicas con los datos estructurales, por medio de estas se establece un análisis cinemático de los taludes para analizar los posibles mecanismos de fallas en escenarios críticos de aprovechamiento.

Capítulo 4. Ajustes del modelo geológico definiendo las características del material calcáreo a extraer y el cálculo de reservar estimando la relación útil/estéril para un mayor beneficio en costos y operación.

Capítulo 5. Definición en el diseño de la cantera en donde se tiene en cuenta el método seleccionado de explotación, aquí se presentan dos alternativas y se evalúan señalando así la más razonable aplicada al proyecto para las operaciones de arranque, cargue y transporte.

Capítulo 6. Descripción de los parámetros para el diseño y construcción de las vías, los accesos, disposición de estériles, infraestructura y por último el plan de cierre de la explotación y abandono

Capítulo 7. Tener en cuenta las Medidas del proyecto para identificar los impactos sobre los componentes bióticos y abióticos producidos por las actividades mineras, este capítulo hace énfasis con el plan de manejo ambiental para la extracción de materiales de construcción, con el fin de evitar la afección del medio ambiente ocasionado por el proyecto minero.

Capítulo 8. Aquí se plasma el análisis económico y financiero del proyecto teniendo en cuenta las inversiones existentes, los costos del proyecto y los aspectos financieros que tienen lugar para definir la rentabilidad.

## INTRODUCCIÓN

Hoy día las explotaciones de caliza, el diseño y planeamiento minero se lleva a cabo utilizando técnicas determinísticas que conllevan a procesos mineros en los cuales se dejan de explotar o producir una cantidad considerable de recursos minerales, que emanan niveles de producción indebidos desde un panorama tecnológico, financiero, social y ambiental.

Mediante un adecuado diseño y proyección, utilizando materiales de optimización se logrará en el corto plazo ampliar la productividad y competitividad de indicadas explotaciones, la cual causará una explotación razonable y generará empleos en la región donde se lleven a cabo este proceso productivo.

Para el planeamiento de la mina "PEÑA BLANCA", se debe aglutinar todas las fases de operación minera, estableciendo una base económica del yacimiento y exteriorizando una secuencia de construcción aplicada. Siempre teniendo en cuenta que los componentes a considerar para este plan son numerosos y deben mostrar las características y situaciones restrictivas con respecto a una mina en específico. Sin embargo, el objetivo del modelo en la mina nos limita de un plan minero más extenso y racional, orientado particularmente a la minería a cielo abierto, cuando se trata de canteras pequeñas, por esta razón, se consideran aspectos básicos del planeamiento en este caso, los cuales son de gran importancia para la realización de un buen proyecto.



## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 Objetivo general**

Elaborar el planeamiento minero a corto plazo, con ayuda de herramientas (software minero Surpac - MineSched), para la explotación de caliza de la mina Peña Blanca.

#### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Actualizar y efectuar el registro topográfico con el fin de conocer los diferentes factores presentes en la zona de estudio.
- Seleccionar la alternativa del método de explotación.
- Diseño de vías de acceso, caras libres teniendo en cuenta los parámetros y factores previamente definidos.
- Elaborar el diseño y secuencias mineras aplicando el software Surpac – MineSched.
- Determinar el plan de cierre y abandono de actividades.

### **1.2 SITUACIÓN JURIDICA**

La mina “Peña Blanca” se encuentra registrada ante el ministerio de minas, el 01 de septiembre de 2006, para la exploración y Explotación de la mina, en un área aproximada de 15Ha. Para la extracción de piedra caliza, a su vez cuenta con su licencia ambiental, emitida por la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.

### **1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO**

Este informe revela resultados adquiridos en la aplicación de software minero para el diseño de la mina “Peña Blanca”, ubicada en la vereda caño seco, municipio Puerto Nare, departamento de Antioquia. Los estudios están sujetos a fundamentos básicos del método de explotación a cielo abierto de mina de caliza.

El modelo de explotación se definen según el cuerpo rocoso, así permitirá llevar la mina ordenada desde el inicio de la explotación hasta la geometría final. El sistema de explotación será mediante bancos de cinco metros de altura, recuperando conjuntamente materiales meteorizados y estériles totalmente en rebanadas horizontales definidas por la cota de los bancos de explotación así se logra productividad en la perforación y voladura, mejor y segura la maniobrabilidad del equipo minero en las plazas de explotación y mayor seguridad para el personal.

## 1.4 INFORMACIÓN SECUNDARIA UTILIZADA

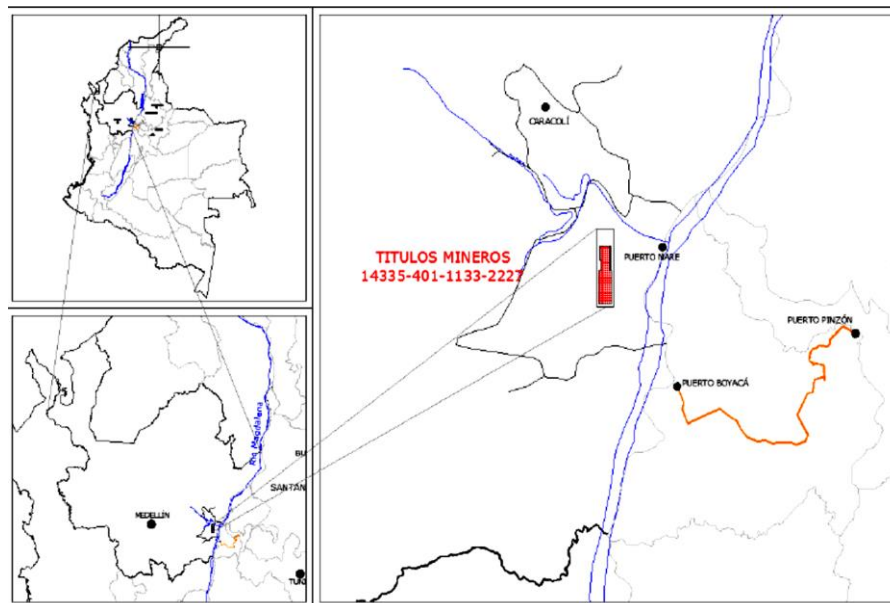
Geología, Información secundaria, Corroboración en campo, Geomorfología, Información secundaria, Levantamiento de campo, levantamiento topográfico de la topografía inicial del terreno, actualizada a febrero de 2016, Levantamiento de la geología de superficie y muestreo sistemático para la determinación de la calidad del yacimiento. Guamoco y Cía. Ltda. Plancha del IGAC 148 IV B en 1990. Estudio geológico minero realizado por MINES en Septiembre de 2001.<sup>1</sup>

## 1.5 LOCALIZACIÓN

El Predio de interés con título minero, se encuentra ubicado en el Valle Medio del Magdalena desde La Sierra, jurisdicción del Municipio de Puerto Nare, sureste del Departamento de Antioquia. El área de explotación se encuentra en el Corregimiento de Puerto Garza (Narices), en la vereda Caño Seco. Que llega directo a la mina. En el punto de coordenadas en N: 1174870, E 934810 y con radio 310 m cubre toda el área de interés minero.

El punto del proyecto minero se muestra en la Fig. 1 En el cuadro 1 se despliegan las coordenadas del polígono.

**Figura 1. Ubicación del proyecto minero.**



Fuente: Datos de estudio.

## 1.6 COORDENADAS DEL AREA DE ESTUDIO

El polígono del título minero se encuentra demarcado en el plano 1 *DELIMITACIÓN DEFINITIVA DEL AREA DE EXPLOTACIÓN* (anexos) en escala en escala 1: 5000.

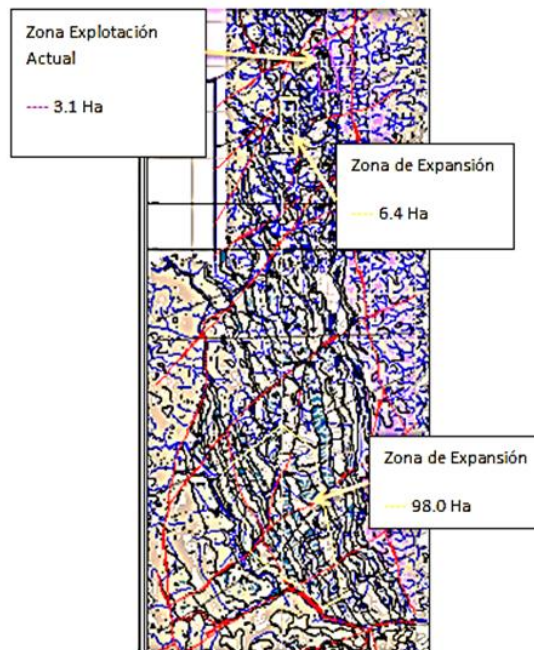
**Cuadro 1. Limites título minero.**

TITULO	PTO	COORDENADAS PLANAS (m) ZONA BOGOTA	
		(X) ESTE	(Y) NORTE
14335	1	935.598	1,167,499
	2	933.278	1.167.499
	3	933.278	1.173.047
	4	933.798	1.173.497
	5	933.798	1.174.672
	6	933.543	1.174.672
	7	933.543	1.177.135
	8	935.431	1.177.135
	9	935.431	1.173.047
	10	935.598	1.173.047

**Fuente:** Datos de estudio.

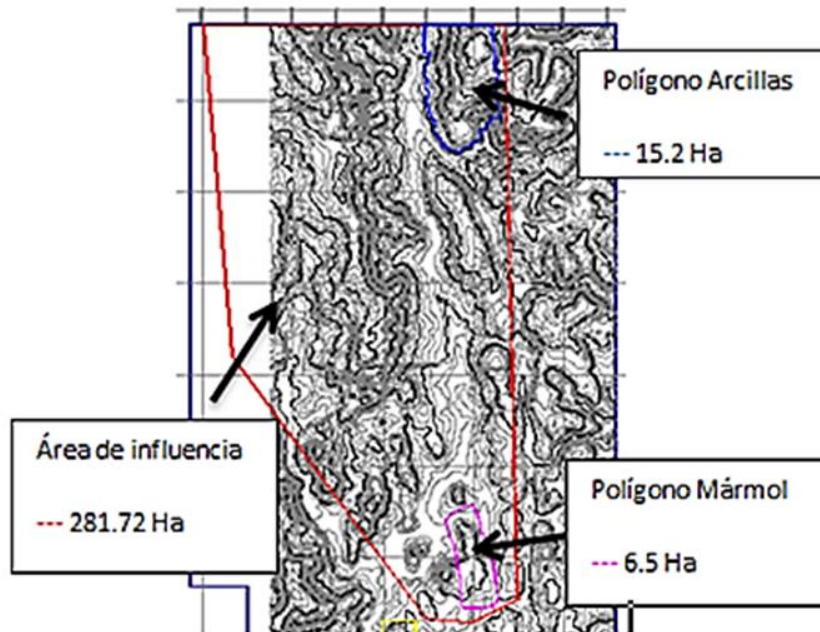
El título minero, en este momento explota 3.1 Ha. Esta modificación incluye ampliar el área intervenida en 278.62 Ha, en la vida útil del proyecto.

**Figura 2. Área minera para cemento blanco.**



**Fuente:** Datos de estudio - AutoCAD.

**Figura 3. Área de intervención**



**Fuente:** Datos de estudio - AutoCAD.

El área a intervenir en la mina Peña Blanca es de 6.5 hectáreas para la explotación de mármol y 275.22 Ha para la explotación de arcillas y demás materiales que se utilizan en la fabricación de cemento, no todas serían minadas de forma inmediata, la tarea es atender aumentos futuros en la demanda de cemento, se tiene contemplada una zona de expansión al sur del área, el polígono que encierra esta área Aparece en el Plano. 1 (Anexos) área de expansión.

### **1.7 VÍA DE ACCESO**

A unos 22 km de La Sierra, jurisdicción del Municipio de Puerto Nare, al sureste del Departamento de Antioquia, al área de explotación se llega por vía que conduce hacia el Corregimiento de Puerto Garza (Narices), y en la vereda Caño Seco, se toma hacia el sur por una carretera de 4 Km. que llega hasta la mina.

### **1.8 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN**

En el marco de realización de este estudio, se efectuó por terceros, el estudio geológico y muestreo detallado para determinar calidad y potencial de explotación minera en lo que concierne a la mina “Peña Blanca”, también se tomó una topografía detallada para definir dimensiones iniciales del área de extracción y así establecer características planimetrías y altimétricas del polígono minero, logrando la localización y la representación de la morfología de los frentes explotables.

## 2. CONDICIONES NATURALES, DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA

### 2.1 ASPECTOS FÍSICOS

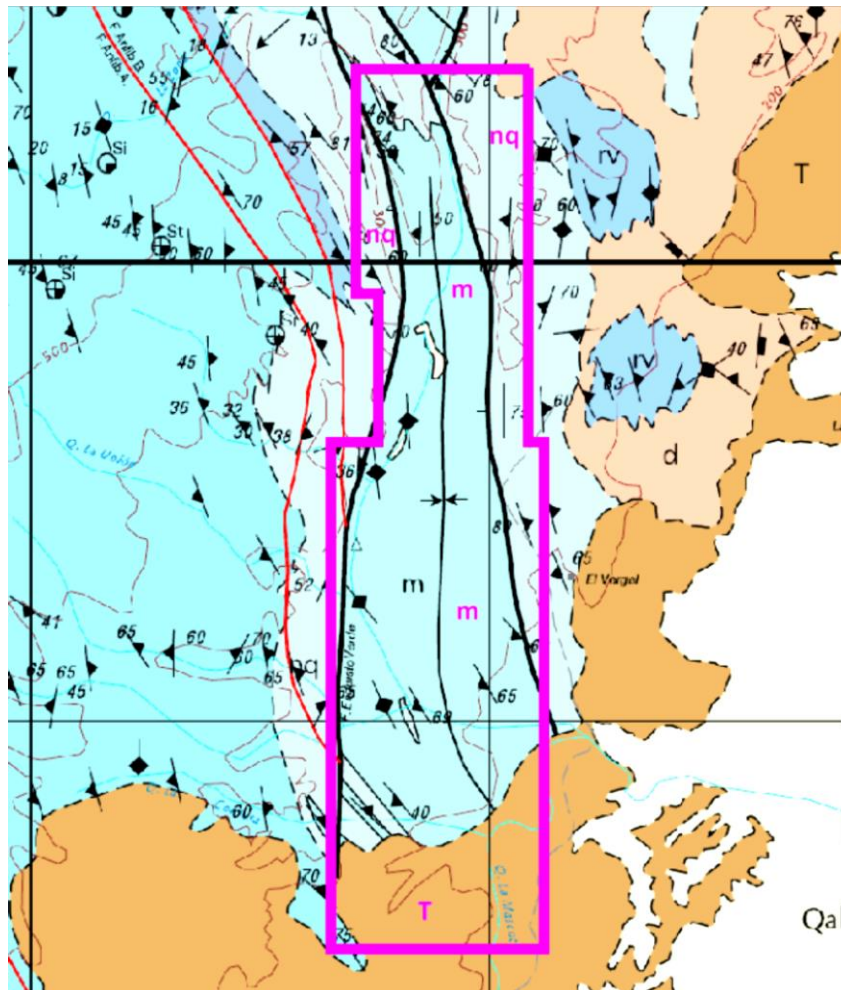
Este sector corresponde a estribaciones de la cordillera central, con alturas de 1.000 m.s.n.m. La temperatura de la zona se caracteriza por su clima tropical, las precipitaciones tienen variaciones. Como resultado del potencial hídrico y forestal que tiene la zona, en conjunto con su geomorfología, los terrenos por encima de los 200 msnm hacen parte de la zona de Reserva Forestal.

**2.1.1 Geosféricos.** Los componentes geosféricos de medio ambiente natural, estarían compuestos en nuestra zona por la geología, geomorfología, geotecnia, etc.

**2.2.2 Geología Regional.** La cuenca del Valle Medio del Magdalena en el sector del Proyecto Puerto Nare presenta una estructuración de su borde occidental con unas condiciones extremadamente complejas, dominada regionalmente por un Sistema de Fallas de rumbo (Strike-Slip Fault System) combinado con el efecto del levantamiento de la cobertera sedimentaria por eventos intrusivos de edad Jurásica Superior (Marvin, R., et al., 1968 en Feininger, T. y otros, 1972, datación K-Ar de diorita de la cantera Montecristo de  $160 \pm 7$  M.a.) y de edad Cretácica del Batolito Antioqueño, (entre 63 M.a. y 90 M.a., según dataciones de autores como Pérez, 1967; Botero, 1963, Feininger et al., 1972; Restrepo et al., 1991 y Ordoñez et al., 2007), que exhumaron un cinturón de rocas Paleozoicas y lo enfrentan contra rocas Terciarias que aparecen a unos 18 Km al Sur del bloque en estudio. La zona del proyecto se encuentra ubicada en el Piedemonte Oriental de la Cordillera Central de Colombia y estructuralmente es el resultado de una deformación múltiple o polifásica, con elementos estructurales observados en la fase de campo en el área de estudio, que forman parte de un sistema de fallamiento dextro - lateral, que regionalmente ha sido denominado Sistema de Fallas de Palestina. Además al Noreste del bloque se encuentra la Falla de Otú y hacia el noroeste del municipio de Puerto Nare, la Falla de Nus.

De acuerdo con la cartografía publicada por Ingeominas (1970) Fig. 4 en el área de estudio afloran rocas metamórficas de edad Paleozoica, localizadas en un bloque estructural conformado por una estructura sinclinal estrecha con tendencia Noroeste – Sureste y foliaciones con alto grado de buzamiento. Las unidades de roca reconocidas en esta cartografía regional corresponden con: m (Mármoles), nq (Cuarzitas, cuarzitas biotíticas oscuras y Gneises cuarzosos) y d (Diorita y Cuarzodiorita al Este de la Falla de Otú)

**Figura 4. Geología Regional departamento de Antioquia**



**Fuente:** Ingeominas, 1970.

**2.2.3 Geología local.** Los yacimientos mineros se emplazan en un ambiente metamórfico, caracterizado por ocurrencias de cadenas de mármol formando estratos intercalados con esquistos y cuarcitas. Las unidades litológicas principales son mármoles, esquistos cuarzo sericíticos, Gneises feldespáticos y cuarcitas.

En la cadena aflorante del área de estudio se observa la ocurrencia de numerosas fallas subverticales que generan bloques levantados diferencialmente, siendo el principal ejemplo, el observado en la Falla de La Quebrada La Arenosa, que pone en contacto un Bloque Norte levantado y erosionado que exhuma rocas Paleozoicas y un Bloque Sur que conserva una cobertera sedimentaria Terciaria de poco espesor en discordancia angular sobre el Paleozoico, con presencia de “ventanas” de esquistos, cuarcitas y mármoles.

**Rocas Metamórficas.** A nivel regional se presentan dos secuencias estratigráficas: la Paleozoica, conformada esencialmente por potentes sucesiones de esquistos, cuarcitas y mármoles; y en segundo lugar, la Terciaria (Superior), constituida en el área de trabajo básicamente por una delgada cobertera sedimentaria de conglomerados arenosos y arenitas conglomeráticas, denominada Grupo Real, de origen fluvial en discordancia angular sobre el Paleozoico, y observada al sur de la Quebrada La Arenosa, en el bloque de estudio. La secuencia estratigráfica presenta un patrón predominante en superficie de buzamientos hacia Oeste-Noroeste en la parte norte del bloque (monoclinal) y de plegamientos estrechos, a veces fallados y discontinuos en las partes media y sur del polígono de trabajo. En la esquina Noreste del área aflora un pequeño cuerpo intrusivo de rocas máficas de edad indeterminada (Jurásico- Cretácico).

Los intervalos estratigráficos que constituyen los yacimientos de mármol, se encuentran interpuestos con paquetes de esquistos y cuarcitas a nivel regional en contacto estratigráfico concordante, en bloques limitados por fallas de alto ángulo que suelen coincidir con el trazo de quebradas y depósitos cuaternarios aluvial alineados, aspecto de gran importancia para tener en cuenta en las fases de cálculo de recursos y planificación de programas de perforación.

**Rocas Sedimentarias.** El Grupo Real, se identifica al sur de la Quebrada La Arenosa, suprayace de manera discordante al conjunto de rocas Paleozoicas compuesto por esquistos, cuarcitas y mármoles, evidenciando la ausencia de secuencia Cretácica y Terciaria más antigua que el Grupo Real en el área explorada. El espesor observado en afloramientos de campo en terrazas altas varía de 30 m a 0 m en el Bloque Puerto Nare Sur y buzan levemente hacia el Río Magdalena, con ángulos entre 10 y 12 grados de inclinación.

**Depósitos Recientes.** Los depósitos cuaternarios se extienden por todo el área de estudio y se clasifican de acuerdo a su origen en depósitos de dinámica fluvial de tipo aluvial, depositados por las Quebradas Caño Seco, La Arenosa, La Confusa.

Los depósitos aluviales son acumulaciones activas de sedimentos de poco espesor a lo largo de los principales ríos y quebradas, con presencia de depósitos constituidos principalmente por arenas y lodos; ocasionalmente se presentan gravas y acumulaciones de cantos asociados a paleocanales.

Estos depósitos generan áreas planas o de muy baja pendiente topográfica, desarrollando suelos de colores rojizos a marrón y gris oscuro, son arenosos y arcillosos, con cantos redondeados, guijos y gránulos de rocas metamórficas, cuarzo lechoso, cuarzoarenitas y en menor proporción rocas ígneas.

**Estratigrafía.** La totalidad de este trabajo experimental se llevó a cabo en campo mediante la observación de estratos que forman los yacimientos, el objeto de esta



labor es observar y diferenciar los estratos así mismo conocer cómo se formaron los yacimientos y también tener cronologías relativas.

**2.2.4 Geología estructural.** Los mármoles existentes en la zona se presentan regionalmente afectados por las fallas Otú y Palestina, un complejo sistema de fallas de rumbo. Las fallas que afectan los mármoles corresponden a fallas conjugadas con generación de fracturamiento distensivo, que dificulta la correlación de éstos cuerpos en el sentido de una cantera a otra. A nivel regional, los yacimientos de mármol de la zona poseen condiciones estructurales de fracturamiento variables, aunque el bandeamiento de las estructuras sigue una tendencia media de N30°W/75°W. El diaclasamiento asociado a todos los eventos de fallamiento se presentan en varias generaciones y pueden generar venas abiertas, ahora con rellenos de venillas oxidadas de calcita y costras producto de la disolución de los calcáreos.

**2.2.5 Geomorfología.** La geomorfología de la zona de estudio está caracterizada por una topografía predominantemente redondeada, conformada por colinas consecutivas, resalta una topografía prominente, abrupta, que varían de muy suaves en la parte centro sur del bloque a muy altas y verticales como en el cañón del Río Nare, en donde el relieve varía entre 135 m y 595 m. Las zonas suaves están constituidas por rocas metamórficas tipo esquistos sericíticos intercalados con cuarcitas, sobre los cuerpos de mármol predomina la morfología montañosa y localmente kárstica. Asociados a bloques generados por las concurrencias en zonas de falla. Las fallas que afectan el área de estudio corresponden a fallas conjugadas y satélites relacionadas a la falla Otú.

En la zona se definieron dos grandes unidades litológicas, mármoles intercalados con esquistos, esquistos cuarzo sericíticos grafitosos. Hacia los contactos E y W de los mantos de mármol, se presentan rocas esquistosas de composición sericítica y localmente grafitosas y delgadas cuarcitas. Estos esquistos son rocas muy foliadas, fracturas y diaclasadas por una tectónica intensa, generan suelos arcillosos.

Mármoles. Los cuerpos de mármol presentes en la zona de interés, se presentan como mantos masivos que siguen una orientación general NE en forma de tres cerros alargados e independientes, afectados por fallas locales e intruido por un cuerpo de cuarzodiorita. Los mantos de mármol constituyen fajas de 10, 150 y 275 metros de longitud y espesores de 30 a 150 metros y posiblemente mayores.

**2.2.6 Geología del yacimiento.** La calidad de materiales de interés minero, se determinó por muestreos sistemáticos de chips y canales que se realizaron mediante el corte de trochas con control geológico de campo. Posterior a esta acción se implementó un programa de perforaciones con el objetivo de confirmar calidades obtenidas y así, validar la calidad de los. A las muestras se les práctico análisis químico de:



- Óxidos: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>
- CaCO<sub>3</sub>
- Parámetros de Color y Blancura L\* definen el color de la caliza

En la Figura 15 se muestra el perfil típico del yacimiento con los análisis de laboratorio.

## 2.3 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

El territorio sobre el cual se asienta el Municipio de Puerto Nare está configurado por un relieve plano, desplegado sobre el Valle Medio a orillas del Río Magdalena.

**2.3.1 Precipitante.** Las precipitaciones son bastante fuertes y tienen variaciones entre los 1.000 y 2.000 mm anuales.

**2.3.2 Temperatura.** Se encuentra en una zona de piso térmico cálido, una altitud de 125 m.s.n.m. y con una temperatura superior a los 26,8 (°C).

**2.3.3 Humedad relativa.** El territorio se clasifica como bosque húmedo tropical, constituido además por planicies aluviales de suelos fértiles asociados con colinas de pendientes moderadas y suelos de baja fertilidad. Humedad media: 80.31%.

**2.3.4 Evaporación.** En toda el área de estudio y zonas aledañas se encuentra una evapotranspiración variables entre 1.658,2 -1.658,2 (mm/año).

**2.3.5 Zonificación climática.** Con base de datos de precipitación y temperaturas obtenidos, utilizando el sistema de clasificación Lang, Koeppen y Holdridge<sup>2</sup>, se clasifica la zona como:

### Cuadro 2. Zonificación climática

Lang(1955)	Koeppen (1948)	IGAC
Húmedo	Tropical lluvioso de bosques y sabana	-Clima cálido -Altitud 200 y 2000 m.s.n.m. -Temperatura ≥ 27 °c -Precipitación promedio anual 1000 y 2000 mm/añual

**Fuente:** IGAC, estudio de suelo departamento de Antioquia.

## 2.4 ASPECTOS BIÓTICOS

**2.4.1 Vegetación.** La cobertura del suelo es de bosque intervenido, pastos enmalezados, pastos manejados, pasto natural y rastrojos de tipo bajo y alto.

**Imagen 1. Vegetación en la zona de estudio.**



**Imagen 2. Pastos actividades ganaderas.**



**Fuente:** Datos de estudio.

**2.4.2 Fauna.** Para el municipio y las zonas rurales, se tiene ajuste con línea base de componente físicobiótico, se mantiene registro de inventario de fauna y de especies en vía de extinción, hechas por observación directa e información obtenida en campo por la Universidad Nacional de Colombia<sup>31</sup>

---

<sup>1</sup> **Fuente:** UN Facultad de Ciencias Agrarias<sup>3</sup>.

### 3. CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO

#### 3.1 CLASIFICACIÓN GEOMÉANICA DEL MACIZO ROCOSO

Para clasificar el macizo rocoso correspondiente a la cantera 7 de la mina Peña Blanca, utilizamos la caracterización RMR, en la cual se evalúan propiedades mecánicas de la roca como la resistencia, estado de las discontinuidades y condiciones de filtraciones de agua.

**Cuadro 3. Rock Mass Rating system**

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10 MPa	10-4 MPa	4-2 MPa	2-1 MPa	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	>250 MPa	250-100 MPa	100-50 MPa	50-25 MPa	25-5 MPa	5-1 MPa	<1 MPa
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0,6 - 2m	0,2 - 0,6m	0,06 - 0,2m	<0,06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Abertura	Nada	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	>5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación		6	5	3	1	0			
Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min			
	Relación: presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5			
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
	Puntuación		15	10	7	4	0		

**Fuente:** Excavaciones subterráneas en rocas, Hoek & Brown, 1985.

**3.1.1 Cálculo del RQD.** Debido a que no se cuentan con perforación con recuperación de núcleo no se tiene un cálculo directo del RQD, para obtener una estimación indirecta del RQD se puede usar la siguiente expresión, Palmström (1982).

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Donde  $J_v$  corresponde a la cantidad de discontinuidades por metro cubico

$$RQD = 115 - 3.3 (6)$$

$$RQD = 95,2 \approx 95$$

**Cuadro 4. Resultados clasificación RMR**

	VALOR		PUNTUACIÓN
1. Resistencia de la matriz rocosa	250 -100 MPa		12
2. RQD	90%-100%		20
3. Separación entre diaclasas.	0,6 - 2m		15
4. Estado de las discontinuidades	LONGITUD DISCONTINUIDAD	1-3 m	5
	ABERTURA	1-5 mm	1
	RUGOSIDAD	Rugosa	5
	RELLENO	Relleno blando <5mm	2
	ALTERACIÓN	Ligeramente alterada	5
5. Agua Freática	Ligeramente húmedo		10
	TOTAL		75

Fuente: Bieniawski 1989.

**Cuadro 5. Corrección RMR por orientación de las discontinuidades**

Corrección por orientación de las discontinuidades						
Dirección de rumbo y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

$$RMR \text{ corregido} = 75 - 5 = 70$$

Fuente: Excavaciones subterráneas en roca Hoek & Brown, 1985.

## Cuadro 6. Determinación de la clase del macizo rocoso

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

**Fuente:** Excavaciones subterráneas en roca Hoek & Brown, 1985.

De acuerdo a la clasificación de macizos rocosos RMR de Bieniawski (1989), obtuvimos una puntuación de 75, ubicándolo como un macizo de clase II y calidad Buena. Realizando la corrección según la orientación de las discontinuidades tenemos un RMR igual 70 ubicándolo de igual manera en la misma casilla clase II.

**3.1.1 Índice geológico de resistencia (GSI).** Según la propuesta de Hoek & Brown, podemos calcular el índice geológico de resistencia (GSI) por medio del RMR o ubicándolo según sus propiedades como numero de familia de discontinuidades en el nomograma de estimación.

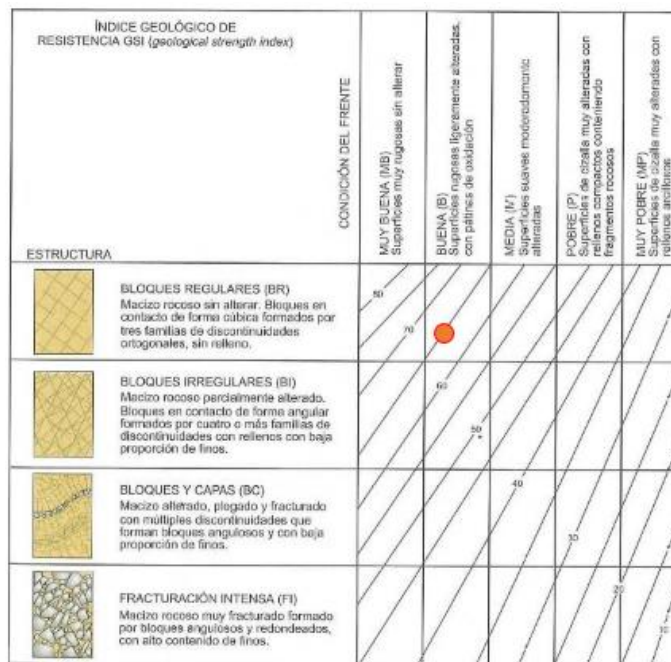
Por medio del RMR se estima el GSI usando la siguiente expresión.

$$GSI = RMR_{\text{ corregido }} - 5$$

$$GSI = (70) - 5$$

$$GSI = 65$$

**Figura 5. Nomografía del índice geológico de resistencia**







**Fuente:** Excavaciones subterráneas en roca Hoek & Brown, 1985.

## 3.2 ESTABILIDAD GEOTÉCNICA

Los problemas existentes de estabilidad en el área de trabajo son pocos, dado que en sitio se ubica sobre rocas parentales de los mármoles de la zona que corresponden a calizas relativamente puras, asociadas a bancos arenosos que por efectos de metamorfismo regional y de contacto con el Batolito de Segovia se presentan actualmente como lentes de mármol de hasta 30m de espesor al interior de grandes masas de gneises y esquistos altamente tectonizados. Las rocas de esta zona, han sido sometidas a múltiples eventos sucedidos a lo largo del tiempo geológico y por lo tanto transformadas y purificadas por variables de presión y temperatura. En el área los cuerpos de mármol se presentan asociados a un frente de cabalgamiento con posible desplazamiento de rumbo denominado “Zona de falla Caño Seco”, seguramente asociado al sistema de Fallas de Palestina y Otú, en donde los cuerpos marmóreos confluyen con esquistos y cuarcita, cuerpos que están afectados por fallas de tipo distensivo y con posterior desplazamiento en sentido del rumbo, originando bloques aislados con frentes disueltos (cavernas). Efectos termales causados por las intrusiones cuarzodioríticas también están presentes.

**3.2.1 Análisis cinemático** de estabilidad de taludes. Se procedió a realizar un análisis de estabilidad analizando los diferentes mecanismos de fallas posibles, para este caso planar, cuña y volteo, de las dos alternativas de conformación de los taludes de explotación. Para el análisis se usaron los siguientes datos de las estructuras presentes en el macizo para graficar en Dips.

### Cuadro 7. Principales familias de discontinuidades

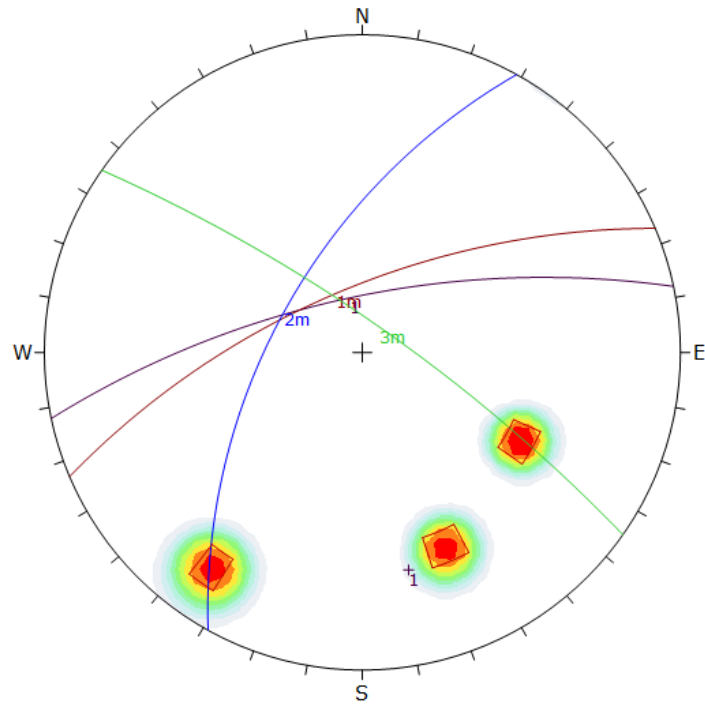
Estratificación	N 22° W	70° W	Rumbo/Buzamiento	
Familia 1	80	35	Dip / Dip direction	
Familia 2	68	338	Dip / Dip direction	
Familia 3	60	300	Dip / Dip direction	

**Fuente:** Datos de estudio.

Alternativa 1. Sentido de explotación W-E en dirección de buzamiento y una inclinación de talud de 70° (270/70; Dip Direction /Dip).

Alternativa 2. Sentido de explotación E-W en dirección de buzamiento y una inclinación de talud de 70° (90/70; Dip Direction /Dip).

**Figura 6. Análisis cinemática de estabilidad de taludes**

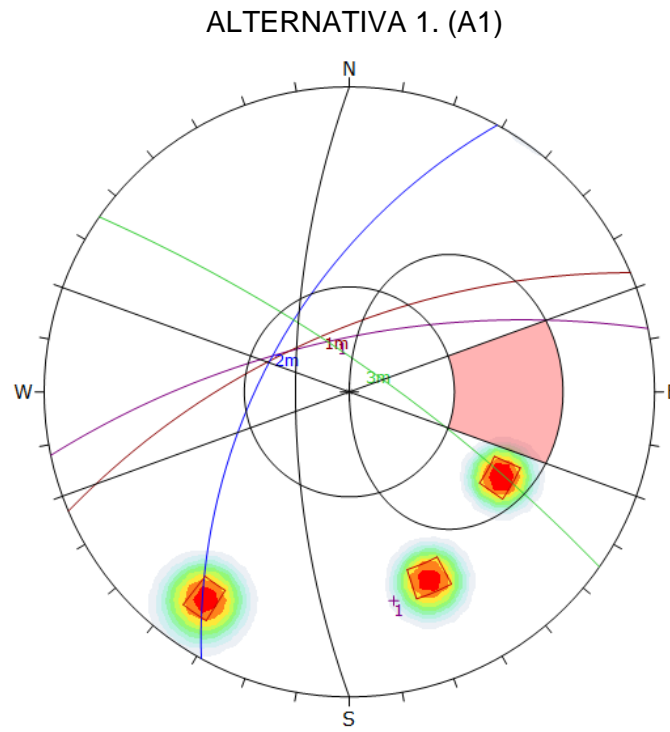


Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.30
	3.30 - 6.60
	6.60 - 9.90
	9.90 - 13.20
	13.20 - 16.50
	16.50 - 19.80
	19.80 - 23.10
	23.10 - 26.40
	26.40 - 29.70
	29.70 - 33.00
Maximum Density	32.80%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	100 (100 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

**Fuente:** Datos de estudio - Dips.

**3.2.2 Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla planar.** Para el análisis cinemático por falla planar es necesario tener en cuenta que se tomó un ángulo de tolerancia de  $\pm 20^\circ$  en la dirección de inclinación del talud. Para este caso no existe ninguna probabilidad de que una superficie de falla salga a la cara del talud. Como resultado del análisis de estabilidad en Dips, para las dos alternativas arrojó un porcentaje de 0.0%.

Figura 7. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla planar A1



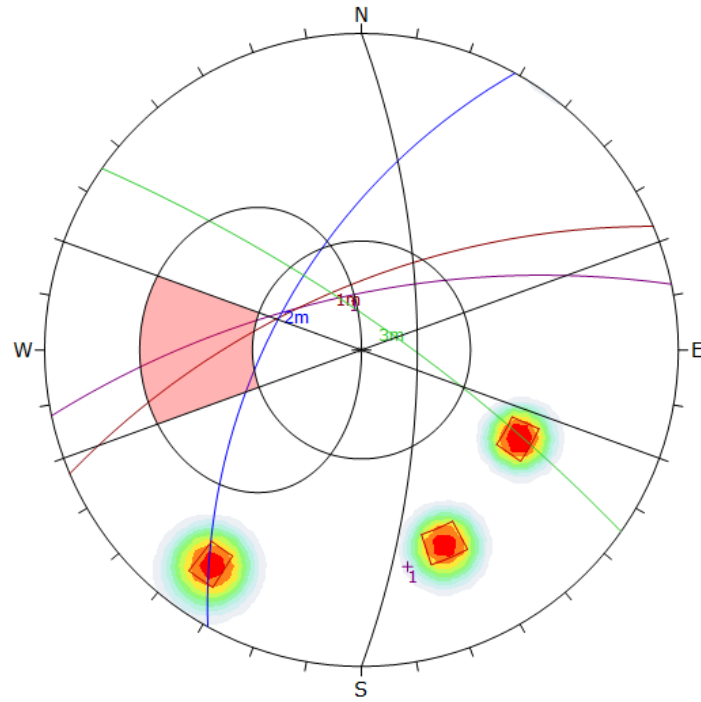
Color	Density Concentrations		
	0.00 - 3.30		
	3.30 - 6.60		
	6.60 - 9.90		
	9.90 - 13.20		
	13.20 - 16.50		
	16.50 - 19.80		
	19.80 - 23.10		
	23.10 - 26.40		
	26.40 - 29.70		
	29.70 - 33.00		
Maximum Density	32.80%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	70		
Slope Dip Direction	270		
Friction Angle	38°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	100	0.00%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	100 (100 Entries)		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

Fuente: Datos de estudio - Dips.



Figura 8. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla planar A2

ALTERNATIVA 2. (A2)

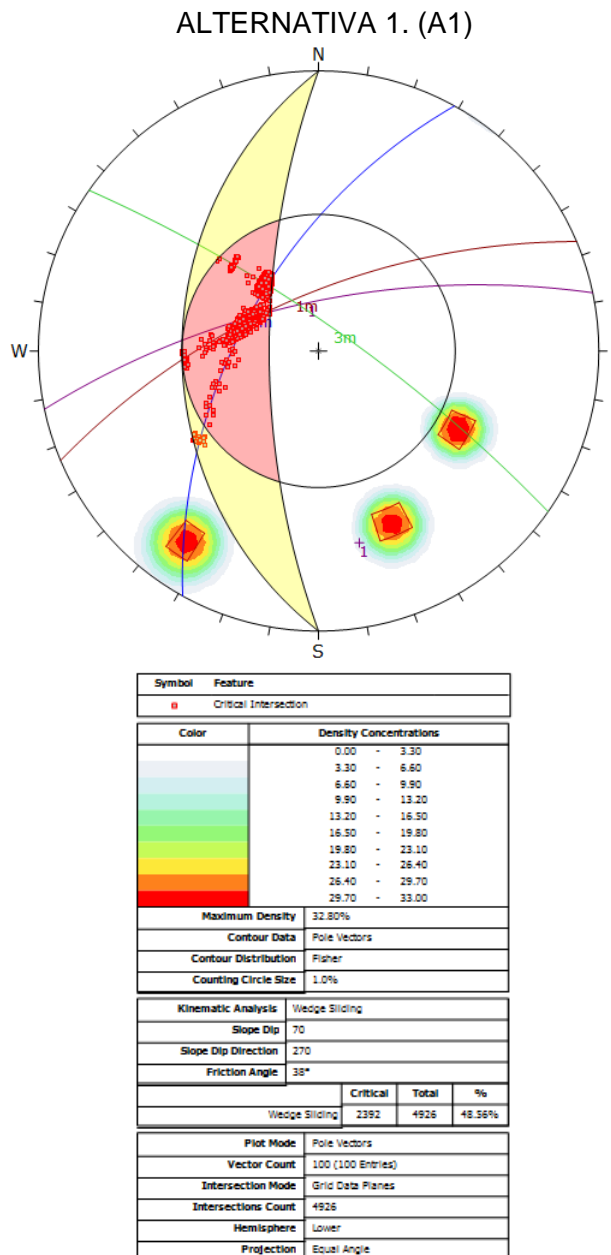


Color	Density Concentrations		
	0.00 - 3.30		
	3.30 - 6.60		
	6.60 - 9.90		
	9.90 - 13.20		
	13.20 - 16.50		
	16.50 - 19.80		
	19.80 - 23.10		
	23.10 - 26.40		
	26.40 - 29.70		
	29.70 - 33.00		
Maximum Density 32.80%			
Contour Data Pole Vectors			
Contour Distribution Fisher			
Counting Circle Size 1.0%			
Kinematic Analysis Planar Sliding			
Slope Dip 70			
Slope Dip Direction 90			
Friction Angle 38°			
Lateral Limits 20°			
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	100	0.00%
Plot Mode Pole Vectors			
Vector Count 100 (100 Entries)			
Hemisphere Lower			
Projection Equal Angle			

Fuente: Datos de estudio - Dips.

**3.2.3 Análisis sistemático de estabilidad mecanismo de falla por cuña.** Para el análisis de probabilidad de falla mediante este mecanismo se tomó un ángulo de tolerancia de  $\pm 50^\circ$ . El resultado del análisis de estabilidad evaluando la alternativa 1 arrojó un porcentaje de falla aproximadamente del 48 %, y de aprox. 3.19 % para la alternativa 2. Se establece que el diseño para la explotación se debe realizar en la dirección Este-Oeste, ya que con este diseño se disminuye la probabilidad de falla en los taludes de trabajo.

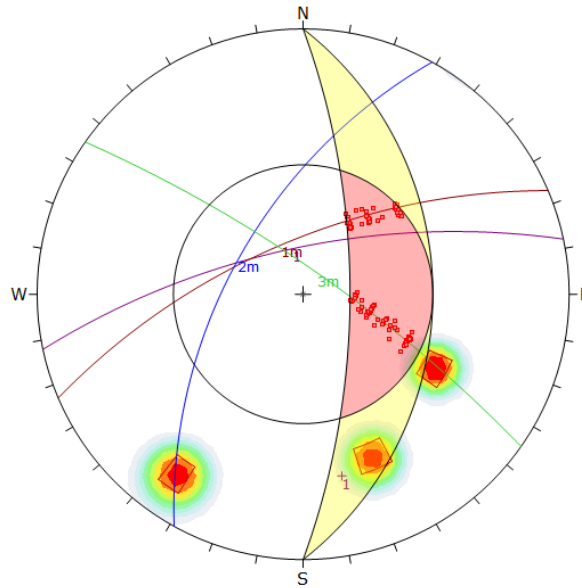
**Figura 9. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla por cuña A1**



**Fuente:** Datos de estudio - Dips.

**Figura 10. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla por cuña A2**

**ALTERNATIVA 2. (A2)**



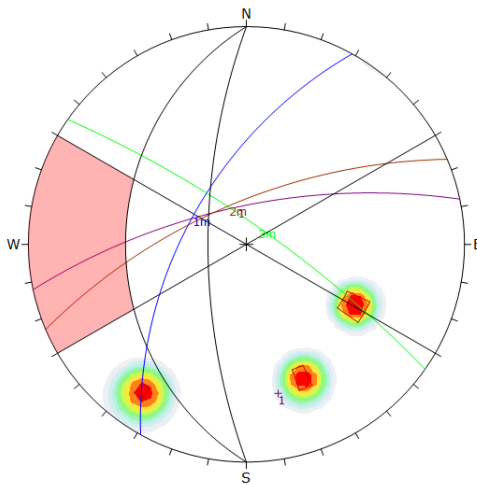
Symbol	Feature		
■	Critical Intersection		
Density Concentrations			
	0.00 - 3.30		
	3.30 - 6.60		
	6.60 - 9.90		
	9.90 - 13.20		
	13.20 - 16.50		
	16.50 - 19.80		
	19.80 - 23.10		
	23.10 - 26.40		
	26.40 - 29.70		
	29.70 - 33.00		
Maximum Density	32.80%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Kinematic Analysis			
Wedge Sliding			
Slope Dip	70		
Slope Dip Direction	90		
Friction Angle	38°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	157	4926	3.19%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	100 (100 Entries)		
Intersection Mode	Grid Data Planes		
Intersections Count	4926		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

**Fuente:** Datos de estudio - Dips.

**3.2.4 Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla por volteo (toppling).** Para el análisis de falla por volteo utilizamos como límite lateral  $\pm 30$  (sugerido por Goodman), que es el cual define la extensión lateral de la zona crítica con respecto a la dirección de buzamiento de los taludes de explotación.

**Figura 11. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla por volteo (toppling) A1**

ALTERNATIVA 1. (A1)

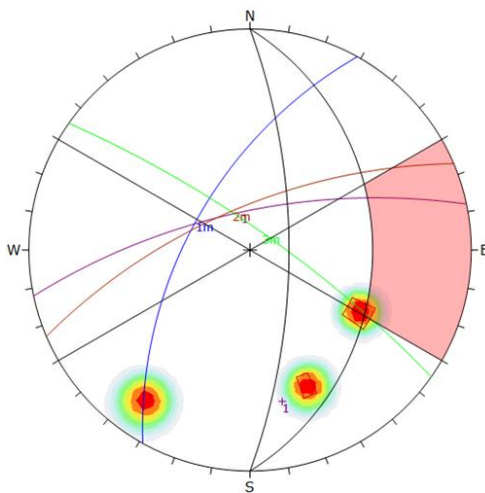


<b>Kinematic Analysis</b>	Flexural Toppling		
<b>Slope Dip</b>	70		
<b>Slope Dip Direction</b>	270		
<b>Friction Angle</b>	38°		
<b>Lateral Limits</b>	30°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Flexural Toppling (All)	0	100	0.00%
<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors		
<b>Vector Count</b>	100 (100 Entries)		
<b>Hemisphere</b>	Lower		
<b>Projection</b>	Equal Angle		

Fuente: Datos de estudio – Dips.

**Figura 12. Análisis cinemático de estabilidad mecanismo de falla por volteo (toppling) A2**

ALTERNATIVA 2. (A2)



<b>Kinematic Analysis</b>	Flexural Toppling		
<b>Slope Dip</b>	70		
<b>Slope Dip Direction</b>	90		
<b>Friction Angle</b>	38°		
<b>Lateral Limits</b>	30°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Flexural Toppling (All)	3	100	3.00%
Flexural Toppling (Set 1)	3	34	8.82%
<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors		
<b>Vector Count</b>	100 (100 Entries)		
<b>Hemisphere</b>	Lower		
<b>Projection</b>	Equal Angle		

Fuente: Datos de estudio - Dips.

### Cuadro 8. Resultados análisis cinemáticos

ALTERNATIVAS TALUDES DE EXPLOTACIÓN	DIP / DIP DIRECTIO N	PORCENTAJE (%) DE PROBABILIDAD DE FALLA		
		FALLA PLANAR	FALLA POR CUÑA	FALLA POR VOLTEO
1. W – E	70 / 270	0.0 %	48.56 %	0.0 %
2. E – W	70 / 90	0.0 %	3.19 %	9.09 %

**Fuente:** Datos de estudio.

Podemos observar de la tabla de resultados que la mayor preocupación del análisis radica en el alto porcentaje de falla por cuña para la alternativa 1 el cual es de 48.56%, por este motivo y debido a que los porcentajes de falla según los diferentes mecanismos analizados son muy bajos se decidió que el avance de la explotación se realizara en sentido E-W, con un buzamiento de 70° y dirección de buzamiento de 90°. Cabe resaltar que existen otros factores que pueden entrar a afectar la seguridad de explotación como lo es la altura del talud, a una mayor altura de talud se puede generar mayor inestabilidad y posiblemente se aumentarían estos porcentajes de probabilidad de falla, para el caso del diseño de esta explotación se estableció que la altura de los taludes será de 5 metros.

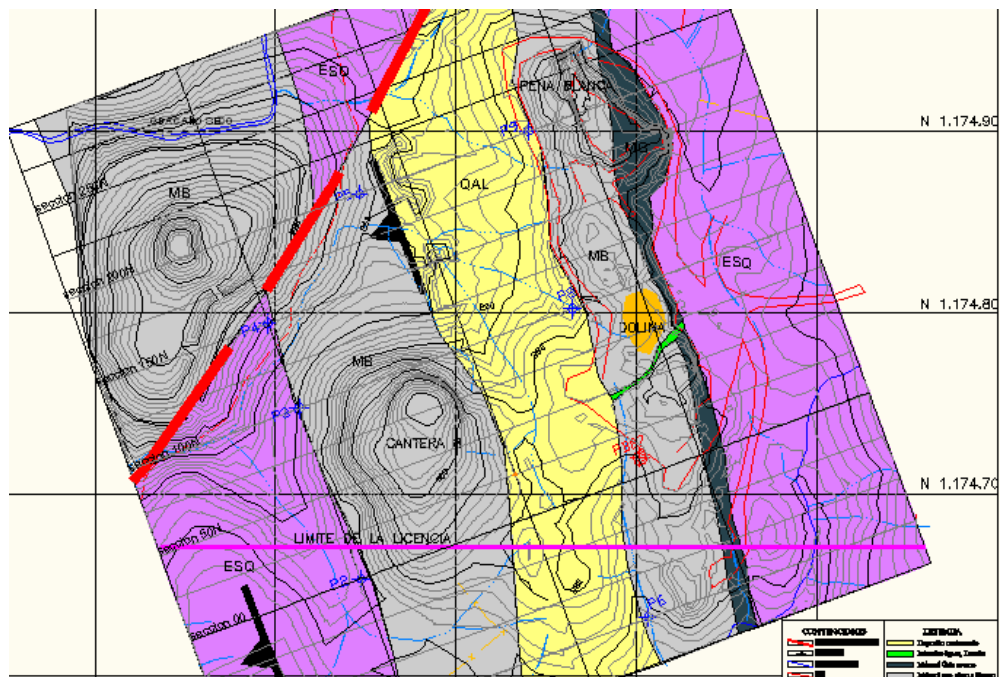
## 4. EVALUACIÓN Y MODELO GEOLÓGICO

La interpretación geológica existente está estructurada a partir de la exploración cartográfica de superficie y pozos exploratorios que permiten visualizar la continuidad de los cuerpos rocosos en profundidad. Esta información, junto con los datos estructurales de dirección, buzamiento, diaclasamiento y contactos del macizo, proporcionan datos necesarios para extrapolar y generar perfiles transversales subterráneos que facilitan conocer el comportamiento del macizo. En el Plano 2 (Anexos) se presenta el mapa geológico local.

### 4.1 BASE DE DATOS

La base de datos para el modelamiento de los mármoles, contiene pozos de exploración que varían entre 27 y 100 metros de profundidad y que se observan en la Figura 13. Además se cuenta con el registro de los barrenos o pozos de producción que serán realizados para las voladuras. Globalmente, la interpretación geológica está basada en los pozos de exploración. Se puede utilizar los barrenos durante la fase de producción para hacer el control a corto plazo.

**Figura 13. Pozos de exploración para mármoles “Peña Blanca”**



Fuente: Datos de estudio - AutoCAD.

La base de datos contiene un total de 5,652 valores químicos, de los pozos explorados. Los valores químicos registrados son: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, L nQ, a nQ, b nQ, L Q, a Q, b Q. En el siguiente cuadro se observa parte de las tablas de calidad instauradas como también se muestra en la figura 14.

**Cuadro 9. Análisis químico tomadas de la base de datos**

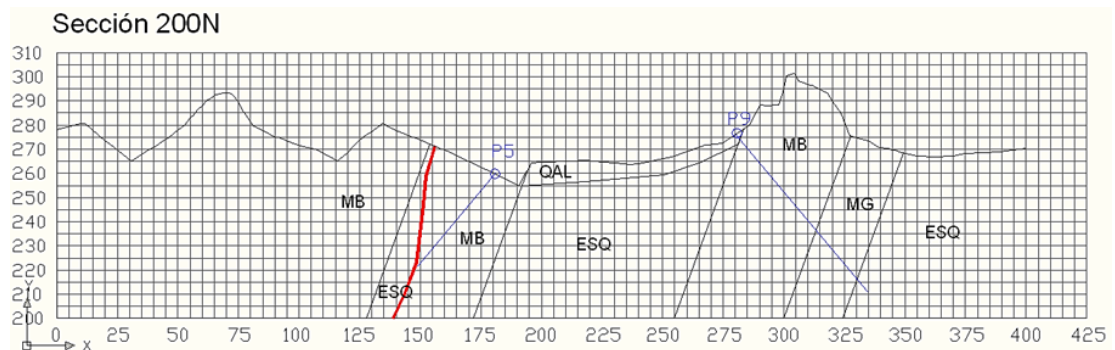
MUESTRA	P.I.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	MS	MA	CaCO <sub>3</sub>	L*	a*	b*
HV902209	43.61	0.17	0.08	0.013	55.02	0.44	0.028	0.005	0.014	0.0023	0	0.171	0	1.83	6.15	97.7	96.8	0.03	2.11
HV902211	43.5	0.53	0.13	0.017	54.85	0.46	0.061	0.005	0.011	0.0023	0	0.108	0	3.61	7.65	97.6	97.11	0.15	2.35
HV902213	43.64	0.13	0.06	0.012	55.22	0.39	0.02	0.003	0.007	0.0023	0	0.102	0	1.81	5.00	98.1	96.87	0.03	2.68

**Fuente:** Datos de estudio.

#### 4.2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA CANTERA 7 MINA PEÑA BLANCA

La base de datos se complementa con la descripción RQD. Toda esta información se ha utilizado para la construcción del modelo geológico y del modelo de calidad de la zona explorada, en la Fig. 14 se presenta un perfil típico de la zona de interés.

**Figura 14. Perfil interpretativo en la zona sur de los mármoles**



**Fuente:** Datos de estudio.

En la parte metodológica para identificar y caracterizar nuevas fuentes de extracción de caliza para el proceso del cemento en la mina Peña Blanca, se realizaron los siguientes pasos:

- Revisión bibliográfica de información existente.
- Visita a campo para identificar la zona y corroborar información existente.
- Plantear malla de muestreo con base en la información geológica conocida.
- Registro de la malla de Geología y Dirección de Materias Primas.

- Muestreo superficial en campo con ayuda de un auxiliar de materias primas, teniendo en cuenta la malla propuesta de muestreo. Se tuvo como herramientas, martillo geológico, bolsas plásticas, marcadores, brújula, GPS.
- Las muestras colectadas son llevadas a laboratorio para su análisis químico.
- Con base en los resultados obtenidos de laboratorio, se realizó la caracterización geológica de la zona por bloques 12.5m x 12.5m.
- Para el cálculo de recursos se tendrá en cuenta una profundidad de 2m y el parámetro Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### 4.2.1 Caracterización de los bloques

El área a caracterizar tiene 7500m<sup>2</sup> y pertenece a la cantera 7. (Figura 15). Para la caracterización química y geológica se tuvieron en cuenta bloques de 12.5m x 12.5m (156.25m<sup>2</sup>), el parámetro Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y el parámetro L. (Figura 16).

El Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tiene que ser menor que 0,08 y la L mayor o igual que 95.50 % de blancura, para hacer parte de la materia prima optima en el proceso del cemento.

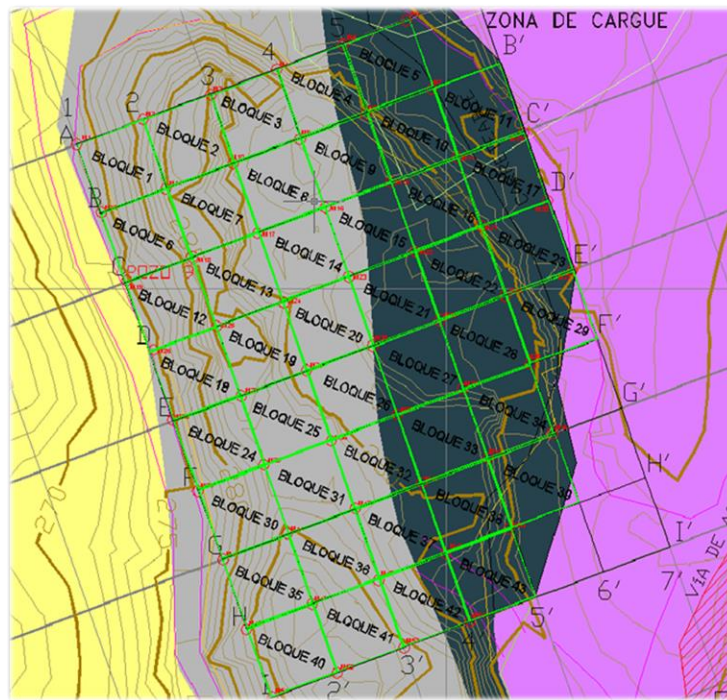
#### Imagen 3. Panorámica Cantera 7



**Fuente:** Datos de estudio – Mina peña blanca.



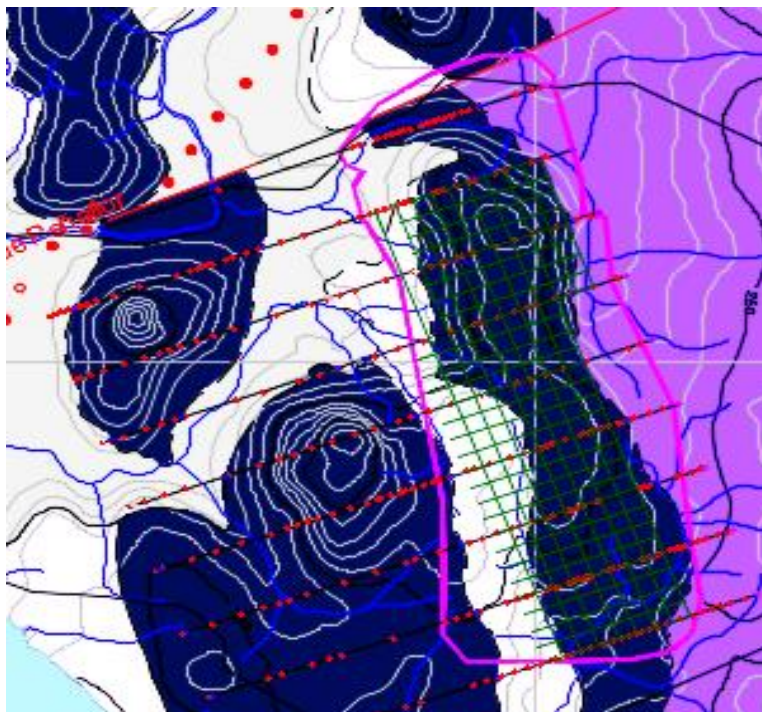
**Figura 15. Bloques dentro de la zona de estudio.**



**Fuente:** Datos de estudio - AutoCAD.

#### 4.2.2Diseño malla muestreo

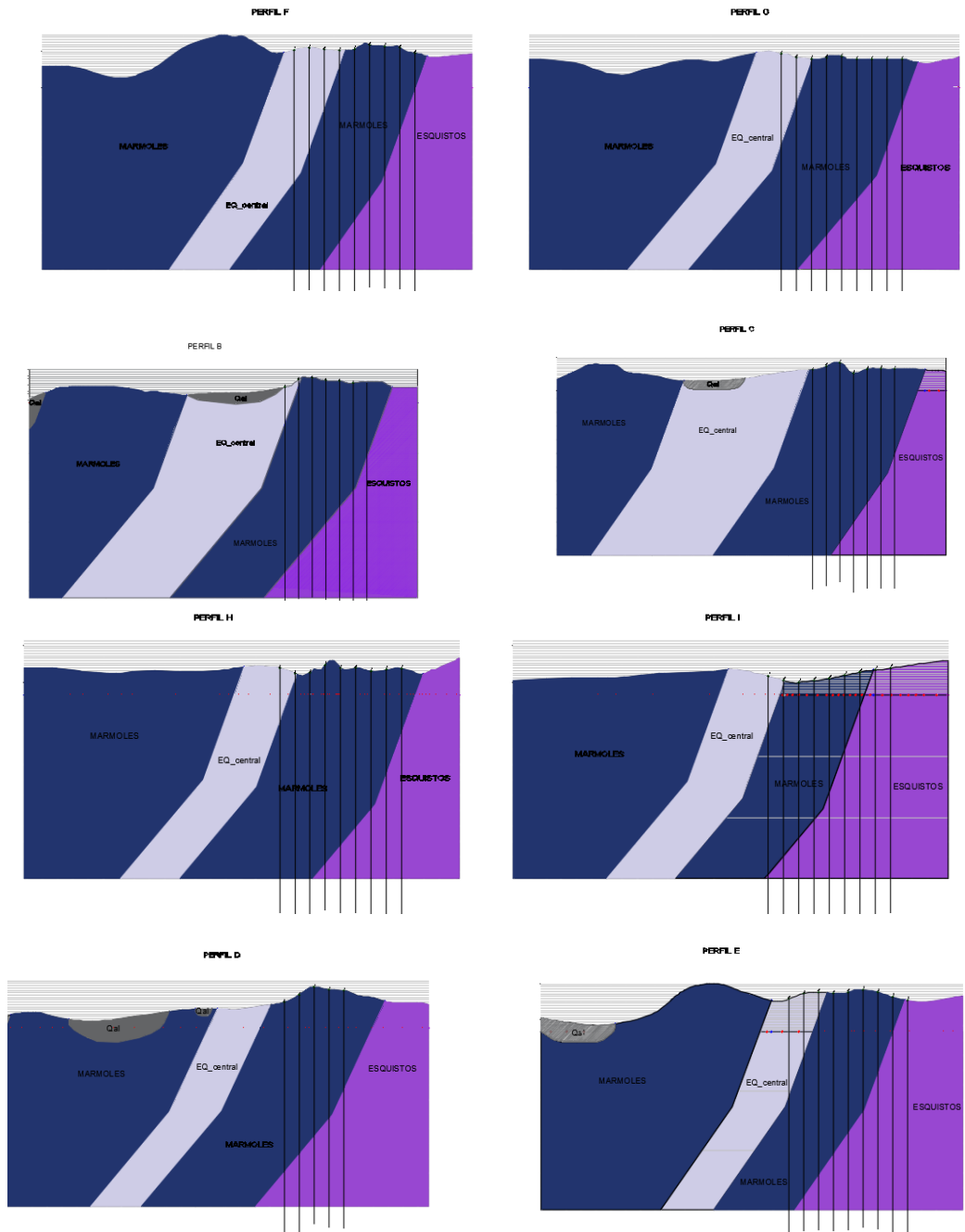
Figura 16. Diseño de malla cantera 7 mina “Peña Blanca”



**Fuente:** Datos de estudio - AutoCAD.

#### 4.2.2.1. Creación de perfiles geológicos

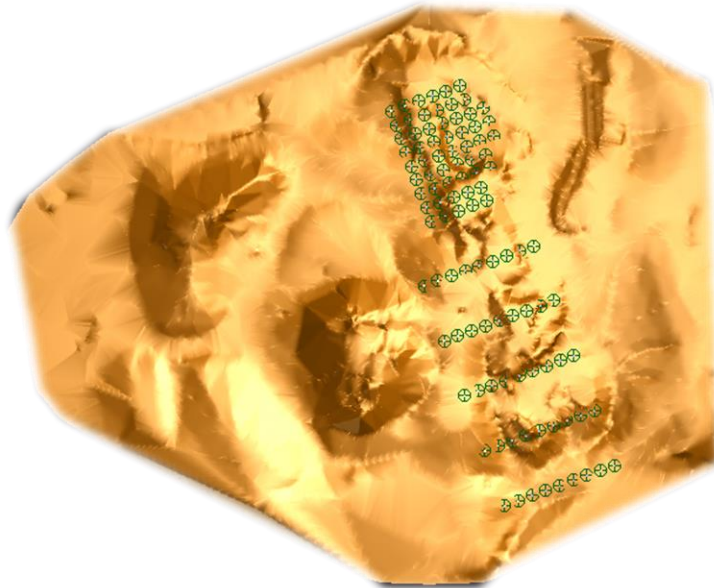
Figura 17. Perfiles geológicos cantera 7 mina “Peña Blanca”



Fuente: Datos de estudio - AutoCAD.

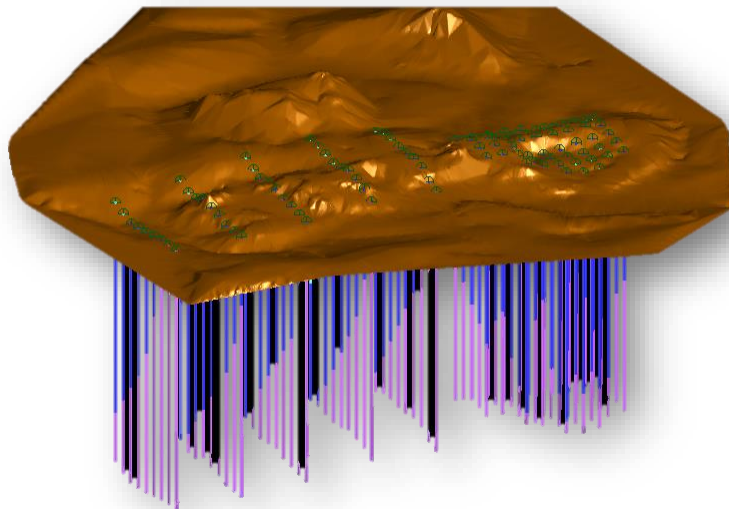
**4.2.2.2. Creación de base de datos geológica.** Para el proceso de creación de base de datos geológica, se hicieron 4 tablas entre ellas collar, survey, geología y calidades diseñadas en el software minero surpac.

**Figura 18. Diseño base de datos geológica**



**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

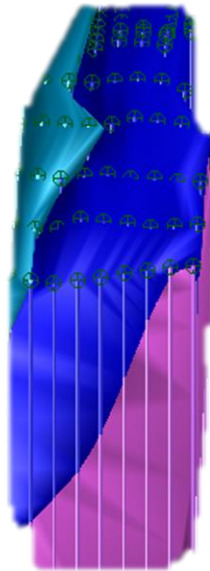
**Figura 19. Despliegue de barrenos base de datos geológica**



**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

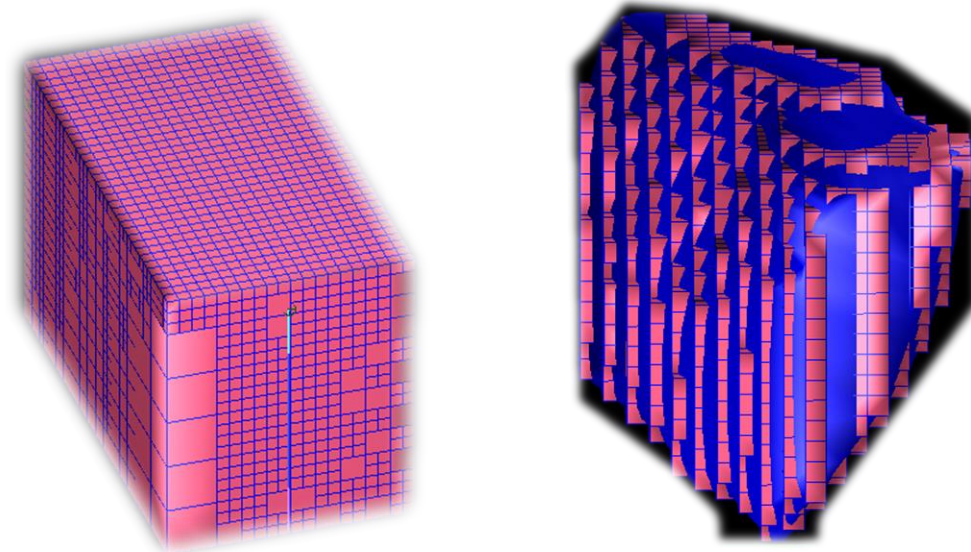
**4.2.2.3. Creación de sólidos cuerpos rocoso mina “Peña Blanca. Detalles de instauración para los diferentes cuerpos de mármol, esquistos importantes para poder realizar el diseño de explotación.**

**Figura 20. Diseño solidos cuerpos de mármol, esquistos**



**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

**Figura 21. Creación del modelo de bloques**



**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

Se alimentó con dos atributos densidad y el atributo más importante a la hora de la selección del material (L).

**Cuadro 10. Atributos para cada bloque**

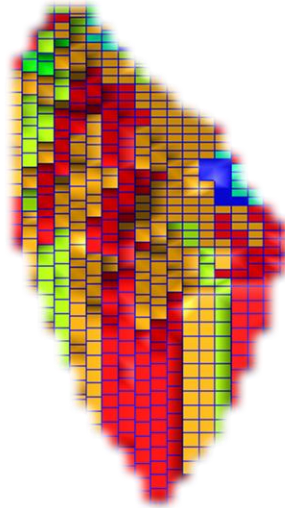
Attribute	Value	
1	densidad	2.40
2		93.10

**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.



Se alimentó con los atributos. Ayudando a identificar cuáles son las zonas a minar con colores distintivos.

**Figura 22. Diseño identidad atributos**



**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

## **5. DISEÑO Y PLANEAMIENTO MINERO**

La importancia de elaborar el diseño minero, es garantizar una extracción técnica, económica, y racional de recursos minerales así como propender por su buen uso y aprovechamiento, para un desarrollo sostenible de la actividad minera en toda Colombia. El método actual de explotación de la caliza es a cielo abierto, en bancos descendentes de 10m de altura y bermas entre bancos de 10m de ancho, con avances en el sentido del rumbo; el arranque se hace con explosivos y el cargue - transporte por el sistema Excavadora - camión, transporte tanto del mineral, como del estéril. El frente de explotación (patio de cargue) y las vías internas están con amplitud para la maniobrabilidad de los equipos.

### **5.1 PROCESO DE MERCADEO**

En un proceso convergen y divergen distintos entes visualizados de la siguiente manera proveedores- entradas- proceso- salidas- clientes.

Los clientes son los principales condicionantes de un proceso de beneficio, definiendo así las exigencias de calidad y cantidad de salidas de un producto que se entregará, al igual los proveedores juegan un destacado rol, ya que para que un proceso genere salidas de buena calidad, las entradas deben tener calidad.

El rendimiento final o total de una operación minera dependerá de que cada proceso y los anteriores y posteriores a este, obtengan resultados que cumplan y luego superen las expectativas de los clientes. El objetivo será obtener un buen rendimiento global a pesar que en algunos casos pueda significar desmejorar el resultado de una actividad en particular (en cuanto a costos y/o rendimiento).

### **5.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN**

Para el desarrollo del método de explotación, se tomó como base la información del modelo geológico, modelo de calidad y así obtener un modelo de referencia para la ejecución del proyecto minero.

Un planeamiento a corto plazo es la única a la cual se le puede asignar tiempo preciso, siendo esta la que abarca producción de la tarea dentro del día, o los próximos, siete o treinta días, y un plan de mediano plazo dependerá de la duración del proyecto, no es lo mismo un mediano plazo para un proyecto de catorce años que uno de tres años, generalizando un programa anual, se detalla mejor cada uno de los meses.

En el diseño se tiene en cuenta el análisis geomecánicos de la roca, este tendría que cumplir parámetros de estabilidad temporal durante la operación minera, así mismo la geología, la topografía, equipos de operación, el diseño geométrico de las labores, demanda del producto e inversión racional para mejorar el proyecto minero.



Entre los factores que inciden en la selección del método y que deben cumplir exigencias básicas propuestas en planta encontramos:

- Mayor recuperación del material útil
- Seguridad
- Economía
- Impacto ambiental mitigable

Sumándole a las anteriores exigencias tenemos parámetros relacionados con el yacimiento.

- Parámetros para el diseño
- Para el correcto diseño de la mina, durante la investigación geológica, se define el yacimiento con sus características litológicas que sirve para optimizar la geometría de la cantera, planificación de labores, control de producción (rentabilidad).
- Geométricos: función de la estructura y morfología del yacimiento, límites de la propiedad, etc.
- Geotécnicos: ángulos máximos de estabilidad de taludes, bancos, etc.
- Operativos: área segura y necesaria para operación de máquinas dimensiones de caminos, pistas, etc.
- Medioambientales: reducción de impacto negativo, escombreras, recuperación de terrenos, etc.

### **5.2.1 Evaluación de Alternativas para la selección del método de explotación.**

Clasificación tipo de explotación en rocas y minerales industriales de tipología explotación en ladera caracterizada por su número de bancos con la tendencia de trabajo de pocos bancos de altura igual a 5m, teniendo en cuenta la dirección de trabajo de excavación definida se distinguen las siguientes alternativas:

#### **Imagen 4. Talud principal en explotación mina “Peña Blanca”**



**Fuente:** Datos de estudio – Mina Peña Blanca.

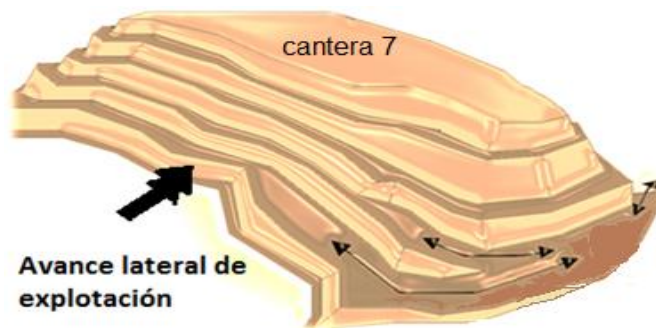
**5.2.1.1 Alternativa uno.** Avance frontal, se realizara pensando en una excavación descendente con abandono del talud final en bancos de 8m.

Esta alternativa tiene facilidad de hacer el arranque donde se desee extraer el material según exigencias en planta y minimiza la distancia de transporte inicial hacia la planta. Con un solo frente de trabajo activo, salvo en algunas zonas de la explotación. Si se avanza el frente es progresivamente alto, por lo que es inviable proceder a la restauración del talud principal constantemente.

**5.2.1.2 Alternativa dos.** Avance lateral “explotación en ladera”, con frentes de trabajo en excavación descendente en todo el frente de explotación.

Permite hacer restauración permanente de los bancos superiores hasta los de menor cota en cada frente de explotación abierto, se requiere un diseño previo del talud y consecuentemente, un proyecto a corto plazo, exige construir vías de acceso a los diferentes niveles, desde el principio obligando una mayor distancia de transporte en los primeros años de la cantera.

**Figura 23. Avance de explotación en bancos descendente**



**Fuente:** Datos de estudio – Paint system Ink.

### **5.3 DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN**

Descripción del método seleccionado. Alternativa dos, se tiene que la principal característica que definirá nuestra explotación es la Topografía, ya que se tiene un yacimiento con una potencia constante N-S (aproximadamente), las condiciones de explotación quedan sujetas a una buena distribución y al contorno de la superficie. Con la secuencia de explotación se define la distribución del yacimiento a medida que se avanza en la explotación; se tiene que la distribución es constante, significa que un yacimiento con una distribución uniforme en la horizontal y en la vertical, es económicamente viable.

**Figura 24. Perfil simplificado de la cantera, forma de avance de las labores**



**Fuente:** Datos de estudio – AutoCAD.

**5.3.1 Dimensión geométrica.** Entre los criterios recomendables para la geometría podemos enunciar: El número de bancos de operación en este caso no debe ser escaso, ni excesivo siendo recomendable 4 bancos: uno en exploración, otro en arranque, otro en plena producción y otro terminándose.

Altura de banco: La operación debe estar en equilibrio con la máquina de carga, con una altura de 5m. Considerando la excavadora en el frente del talud en explotación, se obtiene ventajas como;

- Utilizar la excavadora para sanear el frente de explotación.
- Mayor control sobre la fragmentación en la voladura.
- Mayor rapidez en ejecución de rampas entre bancos.
- Mejor condiciones para restauración y tratamiento de talud.

Angulo de talud: Dos factores distintivos, el tipo de roca y altura de banco.

Este ángulo se mide desde la pata del banco más profundo hasta la cresta del banco de cota mayor. Como se explica en la evaluación geomecánica, se utiliza durante el trabajo en roca media, ángulo de talud  $\sim 70^\circ$ , así dejarlos con el ángulo definitivo y disponer de bermas de seguridad más prácticas.

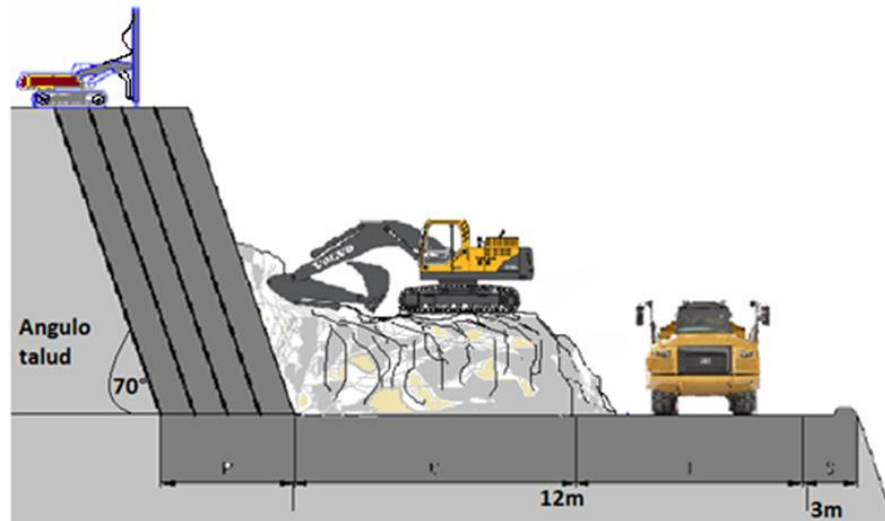
El ángulo de talud restringe nuestra explotación, su variación (por pequeña que sea) generará dos efectos directos:

- Cambios en la estabilidad del talud y la explotación.
- Cambios en los beneficios económicos de la explotación.

Ancho del banco: se tiene en cuenta la suma de espacios para el movimiento del equipo en cantera. El ancho de la zona operativa del banco debe estar entre 2 y 3 veces la altura para que abarque “holgadamente”, la voladura, la carga y el

transporte adicional, una zona de seguridad. Ancho de la rampa 10 m, ancho de la berma protección 3 m.

**Figura 25. Ancho de banco zona operativa**



**Fuente:** Datos de estudio – Paint system Ink.

El elemento esencial del diseño es la rampa de unión entre bancos y puntos de descarga de mineral o estéril cuya pendiente esencialmente depende del sistema de transporte a utilizar y cuya anchura, al igual que la del banco debe ser igual a 2 y 3 veces la necesaria para la medida del transporte por volquetas.

- Inclinación de bancos continuos  $\sim 70^\circ$

**5.3.2 Evaluación geomecánica del método de explotación.** Por la génesis del macizo rocoso, características estructurales y composicionales de los mármoles, cohesión, meteorización y resistencia a la compresión simple, por debajo de 120 MPa; en rocas medianamente masiva, es recomendable el arranque del estéril y/o del mineral con la ejecución de perforación y voladuras con explosivos.

La tarea es la conformación y estabilidad de taludes con base a los modelos existentes y predicciones que posiblemente, por razones geomecánicas deberá variar el ángulo, necesariamente variarán los perfiles de transporte en la operación, por consiguiente los costos. La posibilidad de construir bancos dobles o de mayor altura también influirá en la operación del cargue (equipos y costos), el ancho de caminos y accesos, pendientes y otros parámetros influirán en el rendimiento de los equipos, diseño de rampas, accesos, pendientes, etc.

### 5.3.3 Organización bloque y frente de explotación Preparación del terreno:

Consiste en el traslado del suelo orgánico removido, hacia el sitio de almacenamiento, el cual se realizará en volquetas. Eventualmente también se transportan volúmenes menores de otros horizontes de suelo que por su calidad no son utilizados en el proceso como arcillas y otros materiales.

Se realiza el proceso de extracción de suelo o rocas de los lugares destinados para los trabajos de explotación y las demás obras de infraestructura concebidas dentro de la operación del proyecto minero. En esta actividad se utilizaran equipos de arranque como buldócer, su principal actividad está enfocada a la preparación de bancos con el fin de maximizar la productividad del equipo de perforación, nivelación de pisos y vías de acceso a los frentes de explotación, con igual disposición para cualquier actividad que este equipo puede realizar.

### 5.3.4 Servicios mina

#### Imagen 5. Servicio frente de explotación abierto



**Fuente:** Datos de estudio.

El objetivo es “mantener la marcha en condiciones operativas, garantizando que las operaciones unitarias se realicen con el mejor rendimiento y el mínimo riesgo”, resumidas en las siguientes actividades: La operación de la mina tendrá a disposición equipos que facilitan la asistencia inmediata al personal de la cantera. Entre los servicios están: transporte, primeros auxilios, comunicaciones, dotación e implementos de seguridad.

Los equipos requieren de ciertas condiciones de operación y así cumplir exigencias de producción, en función de los rendimientos operacionales para los cuales han sido diseñados y seleccionados. Es por ello que en un planeamiento minero, se incluye como parte del dimensionamiento de los equipos, los llamados equipos auxiliares, de servicio o de apoyo minero, que idealmente será dimensionado en función de actividades que tendrán que realizar.



Los servicios en mina juegan un rol importante en el mantenimiento de vías y accesos, ya que si se encuentran en buen estado, este permite mejores maniobras a los equipos, produciendo mejores rendimientos y además disminuye el desgaste o daños a los neumáticos, los costos disminuirán. La adecuada preparación de las zonas de operación garantizará el buen funcionamiento de ellos y disminuye la ocurrencia de accidentes con sus respectivas consecuencias.

- Perforador:

**Imagen 6. Track drill**



- Excavadora:

**Imagen 7. Excavadora volvo**



- Buldócer:

**Imagen 8. Tractor D9 Cat**



**Fuente:** Datos de estudio.

**5.3.4.1 Extracción del material.** La clasificación para el sistema de arranque en este caso es transporte discontinuo constituido por los diferentes equipos de arranque, carga y transporte, utilizando un método convencional con o sin perforación y voladura para el arranque del material. Como apoyo a la operación, se consta con la acción mecánica de una excavadora en compañía de un buldócer, para el acopio de material, cargue y el transporte se efectúa con volquetas. Este sistema es el más ajustado en planta, debido a su gran flexibilidad y versatilidad ya que la cantera se encuentra retirada de la planta de beneficio como se muestra en la (Imagen 5).

La explotación de materias primas, se adelantará con un operador minero y algunos equipos alquilados mediante el siguiente procedimiento:

**5.3.4.2 Descapote.** Se retira la cobertura vegetal subyacente en las áreas a intervenir con frentes mineros o construcción de vías. El desmonte se realiza a tala rasa de manera progresiva de acuerdo con la secuencia de explotación.

La relación de descapote, con inicio a la topografía actual se tendrá una baja relación, luego se inicia la extracción sobre los afloramientos de cantera 7 en la mina Peña Blanca, con ayuda del diseño de explotación con referencia a los mantos y la topografía, se tiene en cuenta la relación material útil Vs. Estéril.

En la mina se producen dos tipos de material, el estéril y la caliza. El material estéril que forma el descapote está compuesto por:

- La caliza baja no útil y arcillas situadas en la parte superior de la secuencia de la formación calcárea.
- Suelos arcillosos rojos y oscuros que rellenan dolinas y cavernas en la caliza.
- En el caso del material meteorizado se podrá utilizar al reconformar los taludes finales para mejorar la estabilidad.

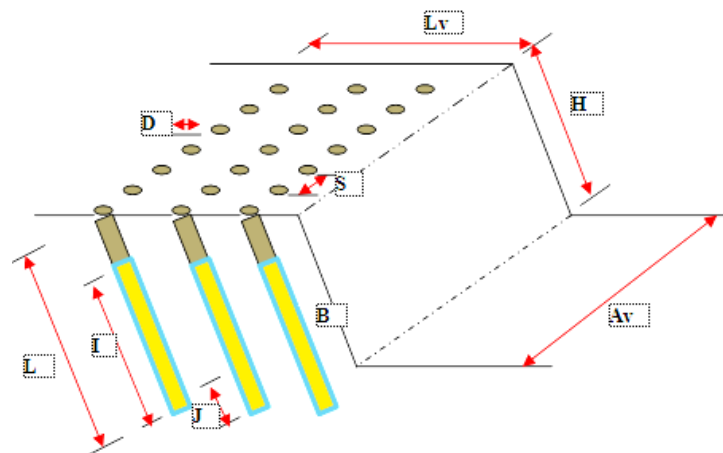
Esta operación da la oportunidad de conservar el suelo fértil y las especies nativas, semillas, estacas, etc. Para reforestar y para la recuperación del espacio explotado. Es recomendable, mantener un vivero o un jardín ecológico en la planta, donde se almacenen todas las especies típicas del lugar para su posterior reforestación.

**5.3.4.3 Arranque.** Consiste en caso de rocas duras, proceder a la perforación de Bancos descendentes con la ayuda de máquinas de perforación y posterior voladura con el uso de explosivos.

**5.3.4.3.1 Voladuras:** Debido a la dureza de las calizas presentes en la mina “Peña Blanca”, la extracción de esta roca no es posible realizarla por medios mecánicos. En vista de lo anterior se hace el requerimiento de explosivos.

- Perforación y cargue de los barrenos. El proceso de voladura, se inicia con la perforación mecánica de una malla de barrenos; previamente diseñada, cuyas principales variables geométricas se indican en la Figura 26. Adicionalmente se controlan variables de tipo físico – químico (tipos de explosivo, potencia, energía, sistemas de cebado) el tiempo de retardo y secuencia de iniciación.

**Figura 26. Mallas de perforación para producción y descapote**



**Fuente:** Datos de estudio.

H: Altura del banco (5 y 10 metros)

D: Diámetro del barreno (4"= 102mm)

L: longitud del barreno (8.8 y 11 m)

D: diámetro de carga (4"= 102mm)

B: piedra nominal (3,2m)

S: espaciamiento nominal (3.5m)

Lv: longitud de voladura = variable

Av. Anchura de la voladura = variable

T: Retacado (2.1m)

J: Sobre perforación (8 -10%)

I: Longitud de carga (6.0)



El diámetro de los barrenos depende principalmente de las características mecánicas y estructurales del macizo rocoso, costos y de equipos disponibles para las operaciones de cargue y transporte. La última porción del barreno se conoce como sobre-perforación; la cual consiste en la longitud de barreno por debajo del nivel del piso que se necesita para romper la roca a la altura del banco y lograr una fragmentación y desplazamiento adecuado, que permita al equipo de cargue alcanzar la cota de excavación prevista.

La altura del banco debe ser de 2.5 a 3.0 veces el Burden; el cual es la distancia entre la primera fila de barrenos y la cara libre del banco.

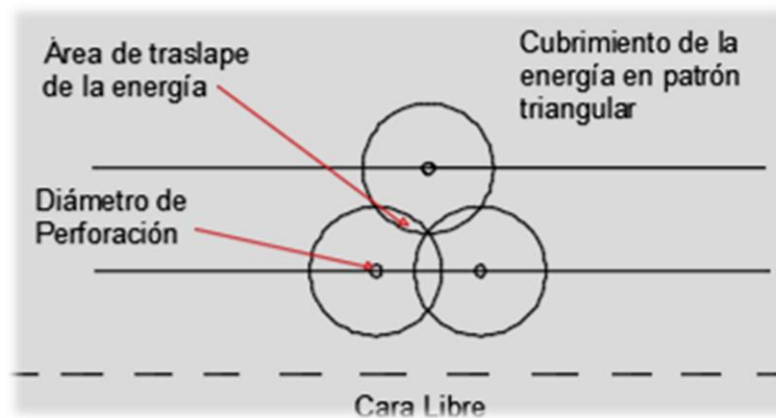
Si H es muy pequeño, cualquier variación en el espaciamiento o en el Burden puede provocar resultados no satisfactorios en la voladura.

Para el cargue del barreno, se utiliza un material inerte para el retacado; el cual tiene como función confinar y retener los gases producidos en la explosión para permitir que se desarrolle por completo el proceso de fragmentación de la roca.

En el caso de la piedra B y el espaciamiento S, su cálculo depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de las rocas, de los explosivos, de la altura del banco y del grado de fragmentación y desplazamiento del material.

La malla de perforación generalmente presenta una geometría cuadrada o rectangular, sin embargo, los esquemas más efectivos son los denominados, “al tres bolillo” figura 27 y entre ellos el mejor es que forma triángulos equiláteros, ya que es el que proporciona la mejor distribución de la energía del explosivo en la roca y permite tener una mejor flexibilidad en el diseño de la secuencia de encendido y dirección de salida de la voladura. La mejor fragmentación se produce con un espaciamiento que vale  $S/B = (1.05 \text{ y } 1.8)$ .

**Figura 27. Esquema de perforación “tres bolillos”**



**Fuente:** Datos de estudio – software JK Bench.

- Inclinación de los barrenos (0-10°): En las voladuras en banco la perforación inclinada presenta ventajas como:
- Mejor fragmentación, desplazamiento y esponjamiento de la pila de material, ya que se mantiene más uniforme el valor de la piedra.
- Taludes más sanos y seguros en los nuevos bancos.
- Mayor rendimiento de la pala debido a la menor altura.
- En este caso los barrenos presentan una inclinación de 0-10°.

De acuerdo con las producciones programadas para el año, se realiza el estimativo de caliza consumo por mes, junto con el inventario de fin de año se realiza el programa de perforación, voladuras y compra de explosivos que garanticen la disponibilidad de material, el cual es revisado mensualmente. En el cuadro 11 se muestran parámetros considerados para la ejecución de la voladura.

**Cuadro 11. Parámetros para el diseño de voladuras**

<b>COMPONENTE</b>	<b>PARÁMETRO</b>	<b>CANTERA</b>
Malla	Tipo de barrenación	Inclinada
	Malla de perforación	3.2x3.5m
Geométrico	Densidad in situ de la caliza	2.6
	Altura de banco (h)	5-10m
	Espaciamiento entre barrenos (S)	3.5m
	Burden (B)	3.2m
	Sobre perforación (J)	10%
	Longitud del barreno (L)	8-11m
	Longitud de retacado (T)	2.1m
Carga de explosivos	Explosivo para carga de fondo	Pentofex 337.5gr
	Explosivo para carga de columna	Anfo
	Longitud de la carga de fondo (lf)	0.5-1m
	Longitud de la carga de columna (lc)	(L-T)
Accesorios de voladura	Carga total del barreno (Qb)	7.1 kg/m
	Amarre	Cable eléctrico
	Iniciador	detonador común
Volumen arrancado	Detonadores	electrónico
	Número de barrenos por banco	18-40
	Volumen arrancado por voladura (VR)	6-12mil ton
	Rendimiento del arranque (RA)	75-85%
	Consumo específico de explosivos	1000-2000kg

**Fuente:** Datos de estudio - Pto Cementos Argos S.A.

- **Explosivos.** Cuando se arrancan rocas masivas, los explosivos utilizados son los de mayor potencia y velocidad de detonación “VD” que producen una alta presión de barrenos. Dado que además de fragmentar la cara se requiere un desplazamiento del material para lograr un buen rendimiento, se debe determinar en cada caso el equilibrio entre la energía de tensión “ET” y la energía de los gases “EB” esas energías dependerán del diámetro de las cargas, de la intensidad y del sistema de iniciación. Las emulsiones o hidrogeles poseen una “ET” alta y son de aplicación en rocas macizas duras.

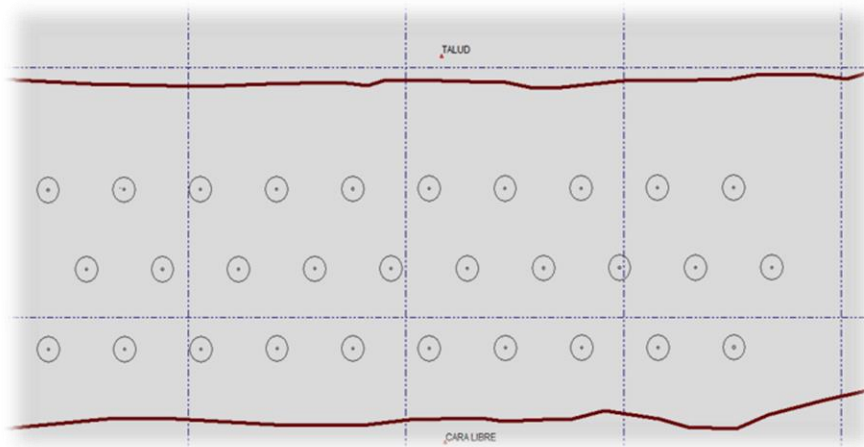
Cuando la detonación de un explosivo crea demasiados finos Se deberá emplear agentes de baja densidad como el ANFO y las mezclas de estas con sustancias inertes.

Se utiliza como sustancia explosiva en la carga de fondo (Pentofex e indugel plus), carga de columna súper ANFO e indugel AV, para el amarre y el fondo utilizamos detonadores no eléctricos y en superficie, Excel y cordón detonante, el retacado se realiza con el 30% de la profundidad del barreno.

Como la resistencia al cizallamiento es superior a la resistencia a tracción, es preciso emplear una distribución de carga selectiva, de forma que la energía específica en el fondo del barreno sea de 2 a 2.5 veces superior a la energía de la columna. La carga de fondo debe tener al menos una longitud de “0.6B” para que su centro de gravedad este por encima, a la misma cota que el piso del banco. En el caso de los accesorios, se utilizan detonadores no eléctricos con retardos entre barrenos de 17 ms y retardos entre filas que pueden variar entre 75 y 200mms.

- Diseño malla de perforación

**Figura 28. Diseño de la malla de perforación**

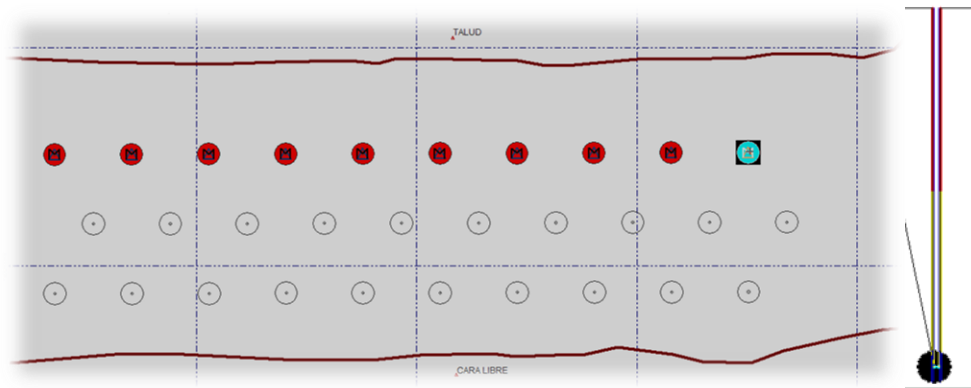


**Fuente:** Datos de estudio - Software JKBench.

- Diseño de voladura de precorte

La voladura de pre corte en el proceso de voladura es un factor importante a tener en cuenta en el diseño. Esta se realiza con el fin de proteger al talud del frete de explotación, estas perforaciones no tendrán la misma densidad de carga pues necesariamente tiene que generar una menor energía que la liberada por la voladura de producción. Para el caso específico se empleó como carga de fondo el PRESPLITTING, como carga de columna se utiliza el ANFO 0.8.

**Figura 29. Diseño de voladura de precorte**

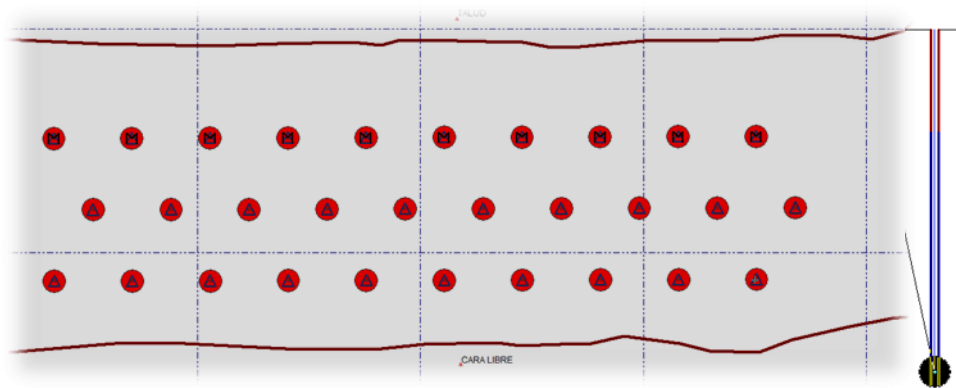


**Fuente:** Datos de estudio- Software JK Bench.

- Diseño de voladura de producción

En el diseño de la voladura de producción se emplea ANFO 1.0 con una carga de columna de 6 metros, y un retacado de 2.5, como Primer se emplea PENTOFEX 337.5 gr. En la figura 30 se puede observar el diseño de la voladura de producción y el perfil de un barreno cargado. El diseño fue elaborado mediante el software JK BENCH de uso libre.

**Figura 30. Diseño de la voladura de producción**

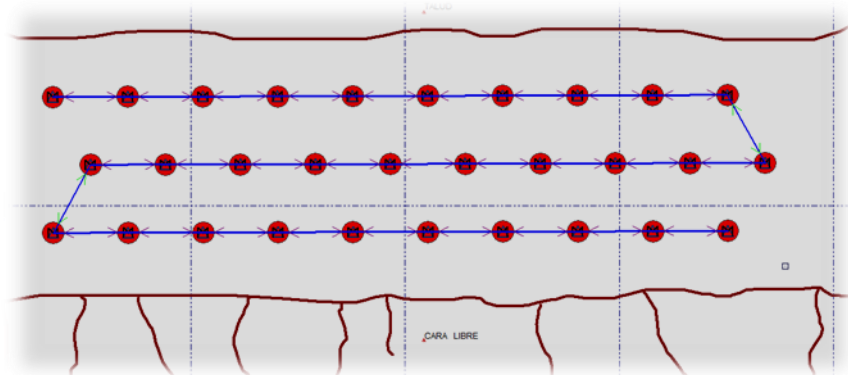


**Fuente:** Datos de estudio - Software JK Bench.

- Conexión en superficie

Como conectores de superficie entre perforaciones se empleó cordón detonante con retardo de 25 milisegundos y de 42 mls entre filas. Como conector de superficie a fondo se emplea cordón detonante de tiempo nominal 700 milisegundos.

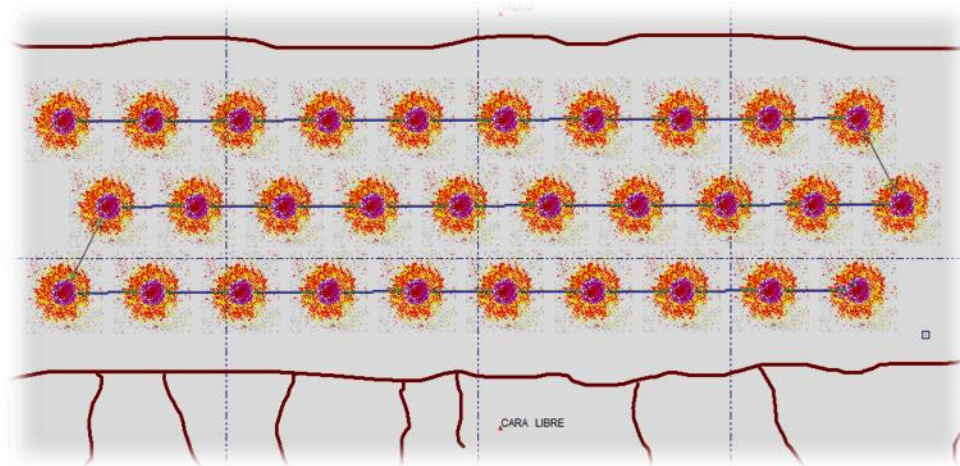
**Figura 31. Conexiones entre barrenos en superficie**



**Fuente:** Datos de estudio- -Software JKBench.

- Simulación de la voladura (resultados)

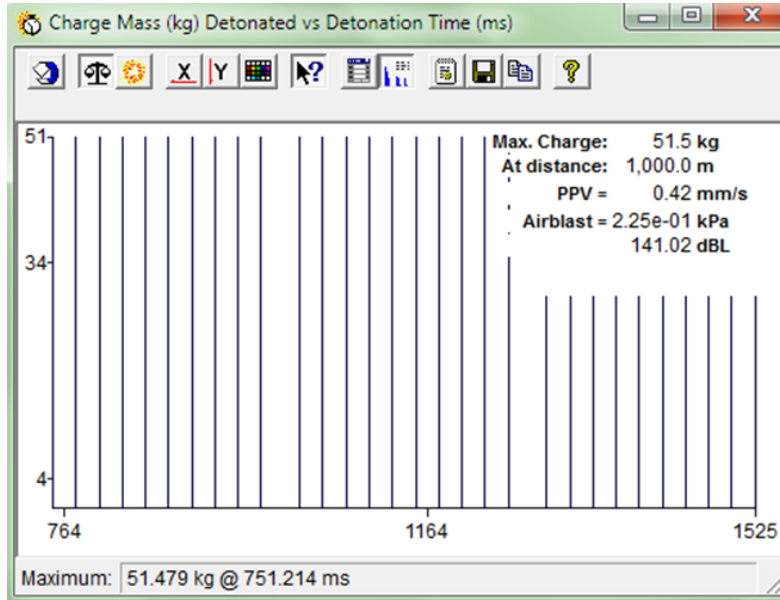
**Figura 32. Simulación de la voladura**



**Fuente:** Datos de estudio - -Software JKBench.

- Análisis de resultados

**Figura 33. Análisis de resultados**



**Fuente:** Datos de estudio – software JkBench.

Los resultados mediante el análisis del software JKBENCH muestran que la velocidad pico de partícula (vibraciones) que se generan a una distancia de 1000 metros se encuentra dentro de un rango aceptable aproximadamente de 0.13 mm/s, lo cual indica que no se generar daños en estructuras aledañas en un radio de 1km. Como resultado de la voladura se tiene un valor en decibeles de aproximadamente 141.02 DBL con 2.25 e-0.1 KPa de onda de choque en el aire. De lo anterior se tiene que el diseño de la voladura es eficiente generando un mínimo de vibraciones que puedan afectar la infraestructura en superficie alrededor de la explotación.

#### 5.3.4.4 Cargué transporte de volquetas

- **Cargué:** Se utilizara para las labores de cargue una excavadora (volvoEC240B), con una capacidad suficiente para que los ciclos de operación sean eficientes. Este cargue implica, material de interés económico, que es transportado a la planta y material estéril, que es transportado al botadero. Esta operación se hace por modalidad de contrato, el cual se cancela por horas trabajada de la máquina. Este equipo garantiza la versatilidad en el tipo de mezclas de materiales para diferentes calidades durante la explotación selectiva que se realiza.

- **Transporte:** La principal actividad de trasporte, son despachos para la fábrica de Cementos, ubicada en el corregimiento de la sierra a 19 km por vía terciaria, aproximadamente desde la mina hasta la entrada de la planta. Para ello

se dispondrá de volquetas con capacidad de 12-20 toneladas, estas volquetas disponen de modalidad de contrato o propiedad de la empresa, a las cuales se le paga por tonelada puesta en planta cuando se transporte caliza, y por número de viajes cuando se transporte estéril que se llevan desde los frentes hasta los botaderos en sitios asignados para este efecto. El transporte se realiza mediante camión (articulado) Caterpillar 725c, que tienen una capacidad alrededor de 25 m<sup>3</sup> hacia el botadero. Estas serán cargadas eficientemente con la retroexcavadora. Las volquetas deben estar encarpadas luego de estar totalmente cargadas, y solo así podrán empezar el recorrido de mineral hasta la planta.

- **Operaciones de apoyo:** Adicional a lo anteriormente referido, dentro del proceso mina “Peña blanca” existen operaciones de apoyo, entre las que se encuentra la construcción y mantenimiento de vías, recuperación secundaria por fragmentación de sobretamaños y lubricación. Estas operaciones usan equipos como: tractor topador grande, vehículos para el transporte de personal.

**Cuadro 12. Listado de maquinaria utilizada en la mina para los procesos.**

EQUIPOS	TIPO COMBUSTIBLE	CAPACIDAD (m <sup>3</sup> )	CONSUMO (h)	MARCA	MODELO
1 BULDOCER	ACPM	75	10,5	CAT	CATD9T
1 PERFORADOR HIDRÁULICO	ACPM	-	-		
1 CAMIÓN	ACPM	25	8	CAT	CAT725C
1 EXCAVADORA	ACPM	1	-	VOLVO	EC240B
1 PICK UP	ACPM	-	-	CHEVROLET	D-MAX
1 PICK UP	ACPM	-	-	TOYOTA	HILUX

**Fuente:** Datos de estudio.

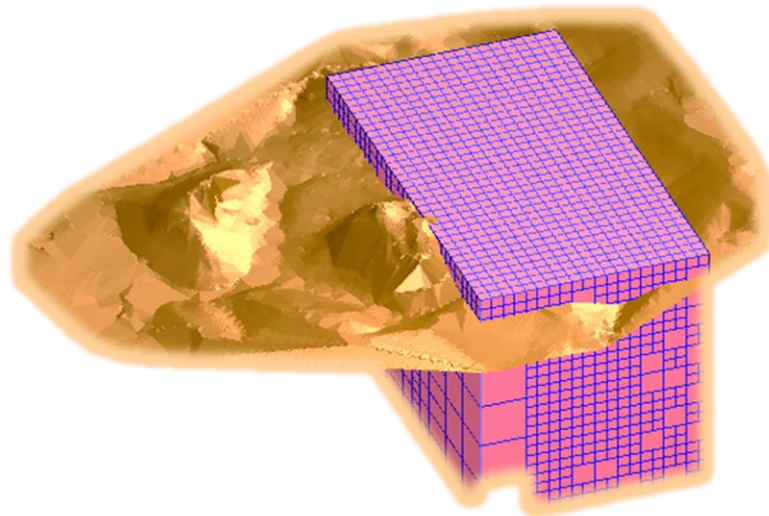
El material explotado que cumple con las características de producción, es llevado a su respectivo beneficio; allá es triturado y clasificado según las especificaciones de calidad y los requerimientos establecidos por producción.

## 5.4 PLANEAMIENTO ESTRATÉGICO CON SOFTWARE

**5.4.1 Software surpac.** En la figura 34, se fijan objetivos múltiples, dadas la prioridades se elige los bloques a minar para así resolver el mejor caso posible, dentro de las restricciones ingresadas. También incluye programación basado en prioridad y nivelación automática de la producción. Precedencias de bloques, direcciones de minado, ubicaciones de minado, límites de banco y polígono.



**Figura 34. Corte de la topografía con modelo de bloque**

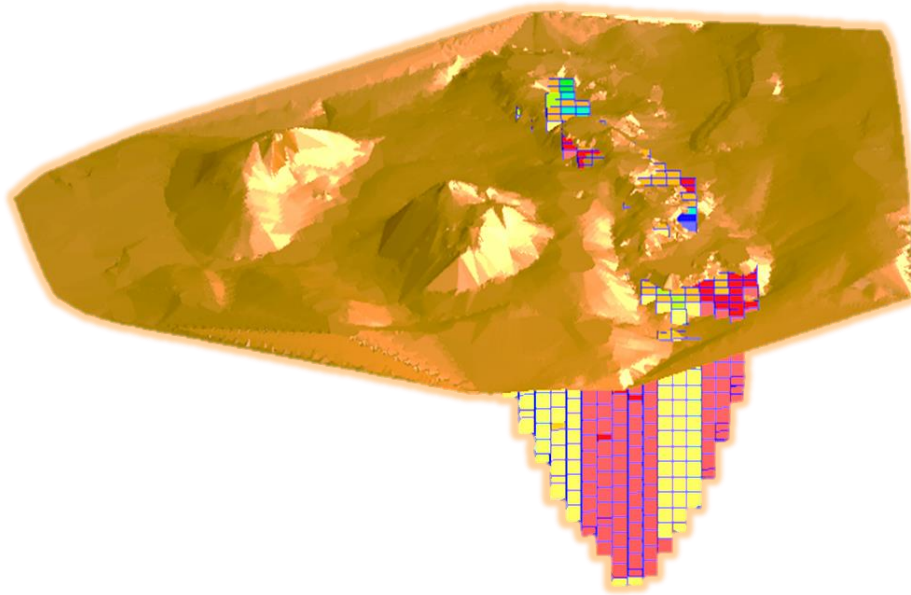


**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

- **Gráficas.** Los gráficos muestran donde ocurre la explotación para cada período programado, de sólidos 3D. La secuencia de minado se muestra en animación, y cada periodo de minado.
- **Definir Geología** Primer paso para definir el área de trabajo de producción, es ingresando el modelo geológico con el cual se realiza la planificación, especificando el modelo de bloques.
- **Creación de base de datos geológica.** Se maneja la información de forma general con la interface Surpac – MineSched – Microsoft “Excel y Access”. Así puede esquematizar, después de haber realizado las respectivas tablas COLLAR, SURVEY, GEOLOGIA y CALIDADES



**Figura 35. Corte topografía con modelo de bloques**



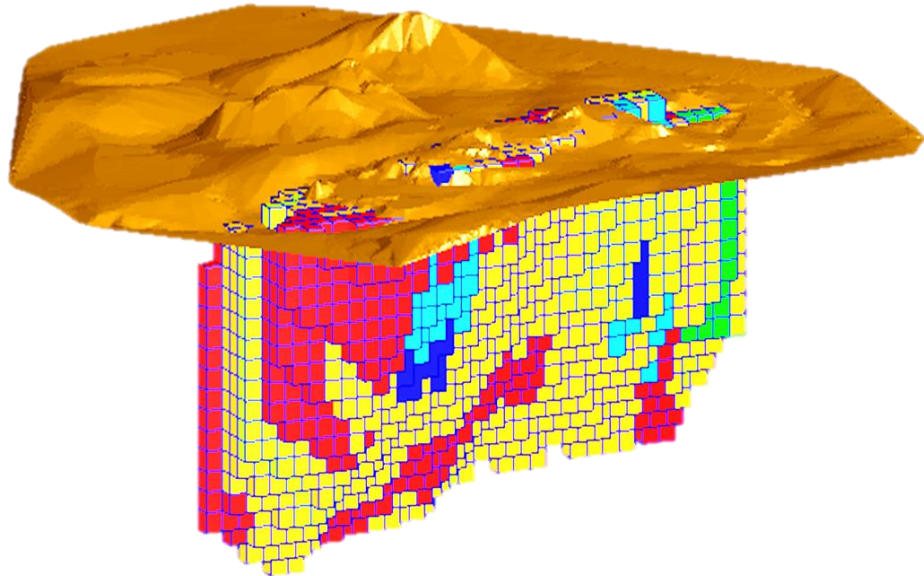
**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

Para este paso se realiza una simulación de barrenos donde nos identifica litológicamente la distinción del macizo rocoso, de esta manera ayudara a resolver nuestro modelo de bloques.

Los cuerpos rocosos identificados con tres colores se muestran en la figura 22, 36 y 37, después del descapote del área a explotar, refleja q el color azul (mármol), está rodeado de material no útil como lo es, el cian y el rosa (arcillas, esquistos, rocas meteorizadas) compósito que rodean el cuerpo de roca calcárea.

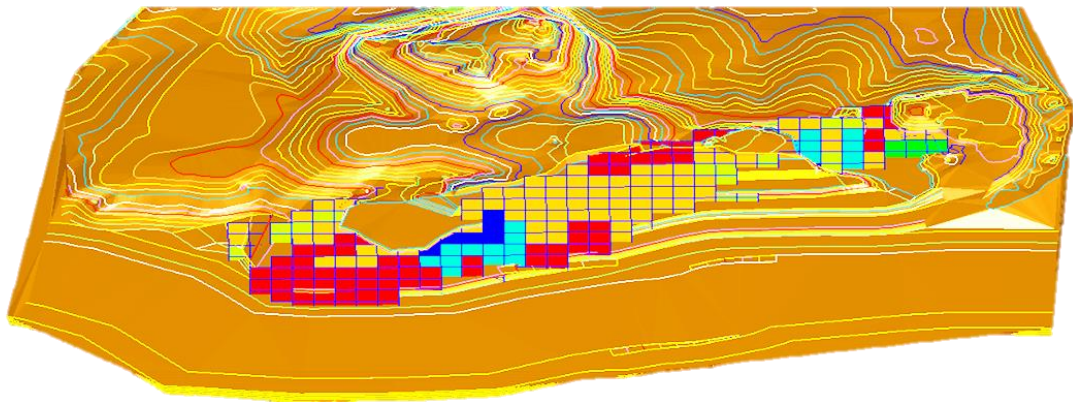
- Modelo de bloques. Ayuda a identificar cuáles son las zonas a minar los colores de mejores calidades son los rojos y naranjas, los de color cian, azul y verdes suprimen a materiales útiles para fabricación de cemento blanco, las oscilaciones que se encontraron para cada bloque fueron densidades de 2,40 y (L\*) 93.10

**Figura 36. Corte topografía con el modelo de bloques y sus atributos**



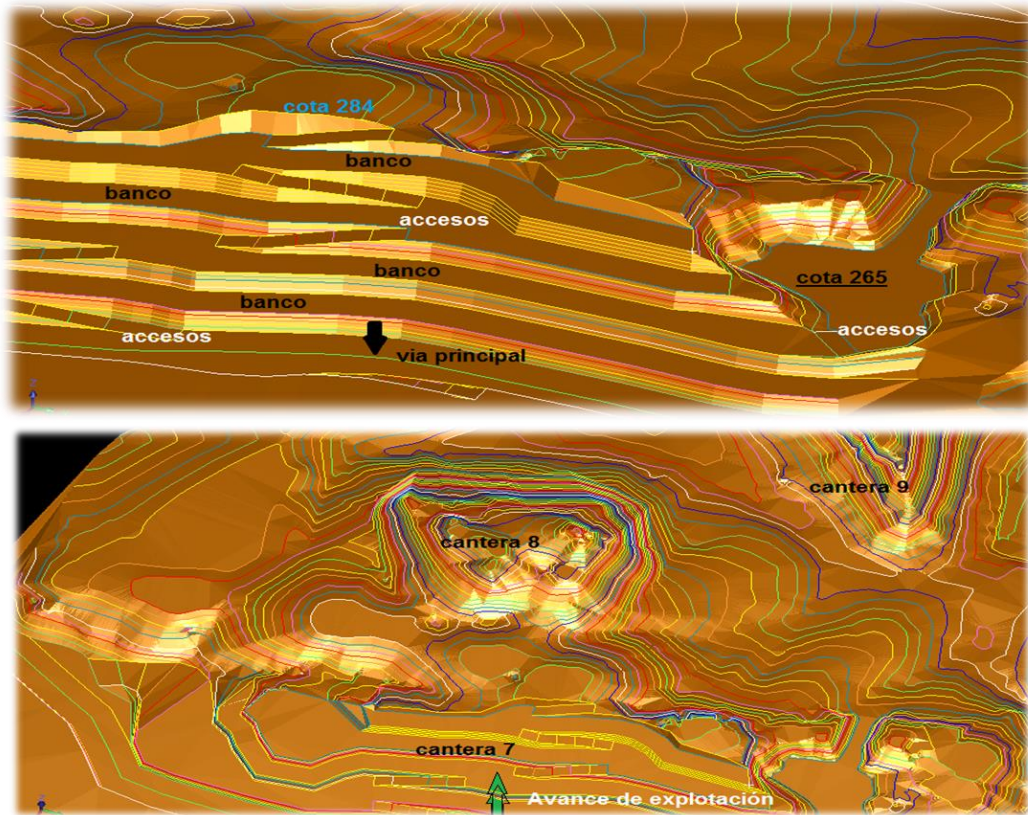
**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

**Figura 37. Colores por atributos en 3D**



**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

**Figura 38. Cantera 7 geometría final mina “Peña Blanca”**

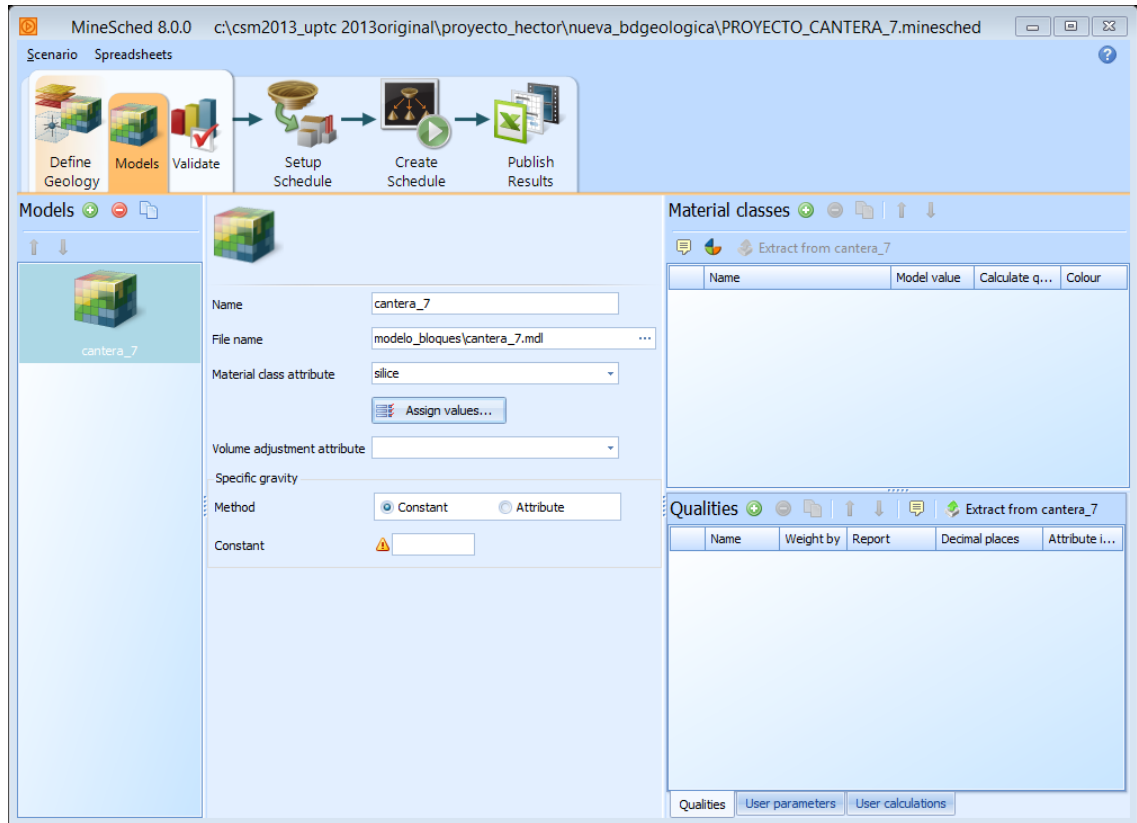


**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

#### **5.4.2 Software Minesched**

El planeamiento con el software Minesched se fundamenta en algunas etapas, la primera es la definición de la geología, en este primer paso lo que se procede a realizar es a importar el modelo de bloques generado anteriormente en Surpac, el cual esta alimentado con los atributos o características más importante para la explotación, como lo es el índice de color (L), el porcentaje de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), contenido de óxido de hierro, contenido de sílice y la gravedad específica de los materiales la cual puede ser especificado mediante un atributo del modelo de bloques o tomándolo como una constante. El modelo de bloques como se mencionó anteriormente es muy importante a la hora de hablar sobre planeamiento minero ya que este nos ubica mediante rangos de colores de los bloques la variación y ubicación de las diferentes calidades del material en el área de extracción, con esto ya se puede saber dónde minar o extraer los materiales cumpliendo o teniendo en cuentas las especificaciones exigidas en planta.

**Figura 39. Importación de modelo de bloques (cantera\_7.mdl)**



**Fuente:** Datos de estudio – MineSched.

En esta primera etapa también se procede a realizar una categorización entre los diferentes materiales de clase, estos son los distintos tipos de materiales necesarios para la explotación. En este caso se distinguen tres tipos de materiales, materiales necesarios para cemento blanco, cemento gris y material estéril, estos son categorizados mediante un rango de calidades y restricciones que nos permite ingresar el software, por ejemplo al cemento gris se le asigna rangos de L entre 93.5 y 99, un porcentaje de CaCO<sub>3</sub> mayor a 97 y un porcentaje de óxido de hierro menor a 0.04. En la siguiente imagen se puede apreciar las diferentes asignaciones y restricciones para categorizar los otros materiales de clase.



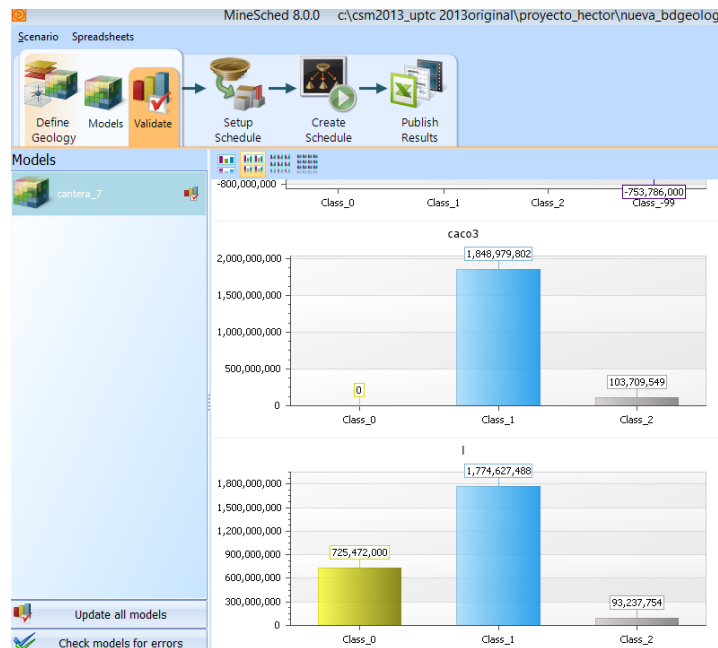
**Figura 40. Categorización de los materiales de clase**

Assign Material Class Values													
Assign values to the material class attribute in the current block model by adding or editing rows in the data grid below.													
To apply your changes to the block model, click 'Execute'.													
Material class assignments													
	Assignment				Constraint 1			Constraint 2					
	Model value	=	Grade attribute name	Minimum value	Maximum value	Attribute name	Operator	Value	Attribute name	Operator	Value	Additional comments	
1	<input checked="" type="checkbox"/>		CEMENTO_BLANCO		93.5	99	caco3	>	97	fe	<	0.04	
2	<input checked="" type="checkbox"/>		CEMENTO_GRIS		84.46	89.76	caco3	<=	85	fe	<=	0.04	
3	<input checked="" type="checkbox"/>		ESTERIL		0	50	caco3	=	0	slice	=	0	

**Fuente:** Datos de estudio - MineSched.

Cabe resaltar que el software atribuyo los nombres de clase 1 a cemento blanco, clase 2 a cemento gris, y clase 0 al material estéril. Luego que se valida la información en el software este nos arroja una serie de graficas en la cual ilustra volúmenes y porcentajes de los diferentes atributos como CaCO<sub>3</sub>, L, para los diferentes materiales de clase.

**Figura 41. Diagrama de barras de los atributos destinados a los materiales de clase**

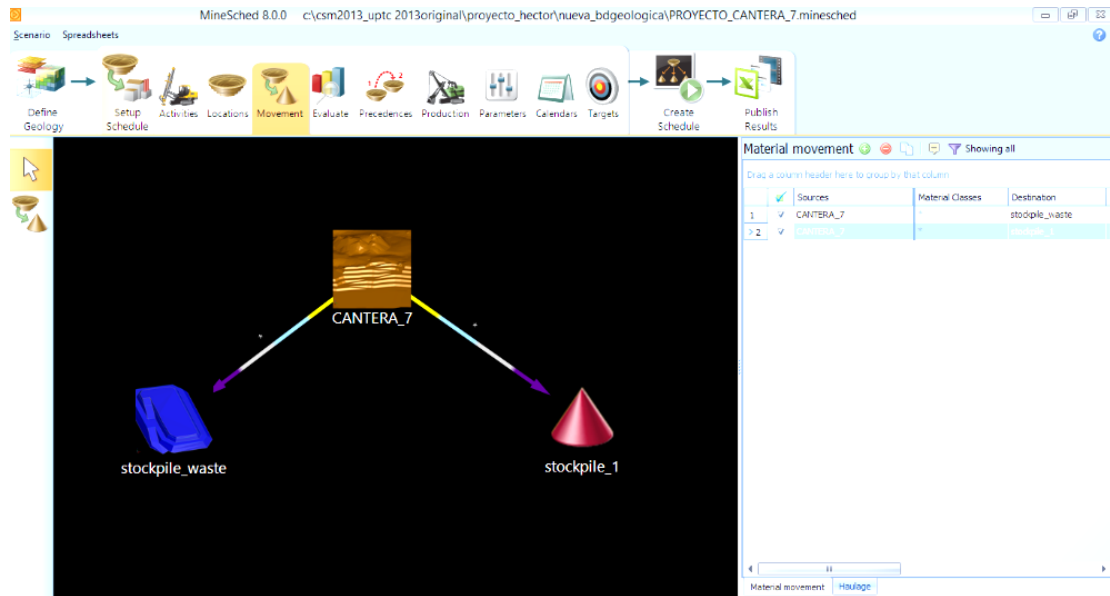


**Fuente:** Datos de estudio – MineSched.

Luego se procede a la etapa de configuración de planeamiento (Setup Schedule) en la cual se ingresan las diferentes locaciones, lo que corresponde a este caso a la cantera, un botadero (stockpile\_waste) y una pila para el material de interés

(Stockpile\_1). Es necesario entrelazar las tres locaciones ya que con esto se especifica que se realizan labores de cantera a botadero y de cantera a la pila 1.

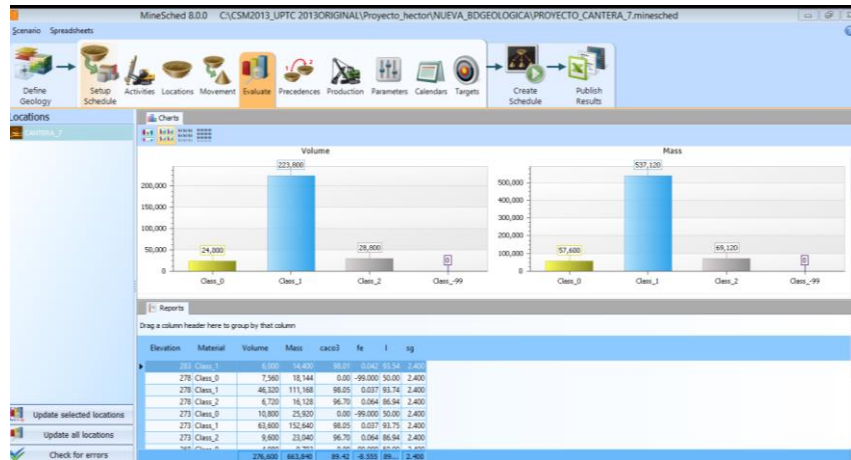
**Figura 42. Configuración del planeamiento en Minesched**



**Fuente:** Datos de estudio - MineSched.

En esta etapa es fundamental importar los diferentes archivos strings y DTM generados en surpac de la topografía inicial y de la topografía luego de la extracción la cual incluye el diseño de la cantera, para intersectar estas dos y obtener un estimado de la masa o volumen total extraído por la explotación y por supuesto establecer una configuración de cómo se procedió a extraer el material, para este caso mediante bancos de 5 metros de alturas y la explotación se dio desde una cota 283 a una cota 258. Para así poder obtener una gráfica de la masa y/o volúmenes de extracción del material en los diferentes rangos de elevación como se muestra en la figura 43.

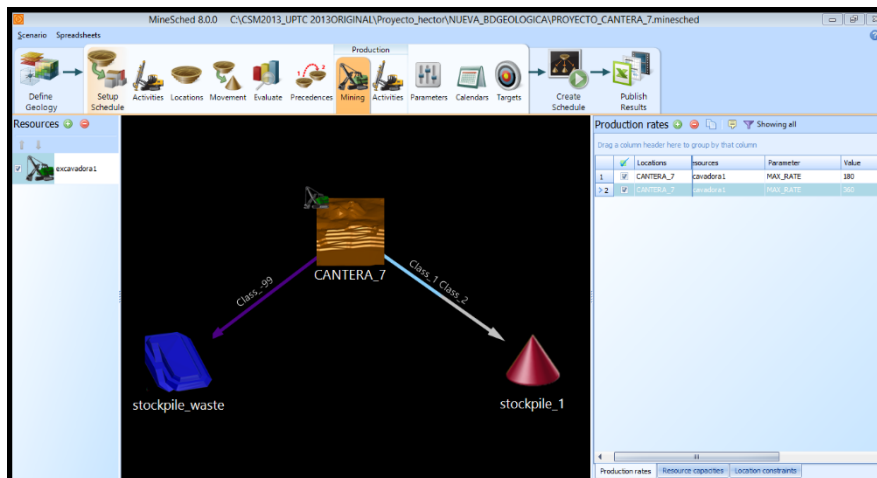
**Figura 43. Volúmenes de extracción según rangos de elevación**



**Fuente:** Datos de estudio – MineSched.

Es fundamental en esta etapa establecer los movimientos de los tipos de materiales, aquí se estableció que los materiales clase 1 y clase dos son destinados a la stockpile\_1, y que el material clase 0 es destinado al botadero.

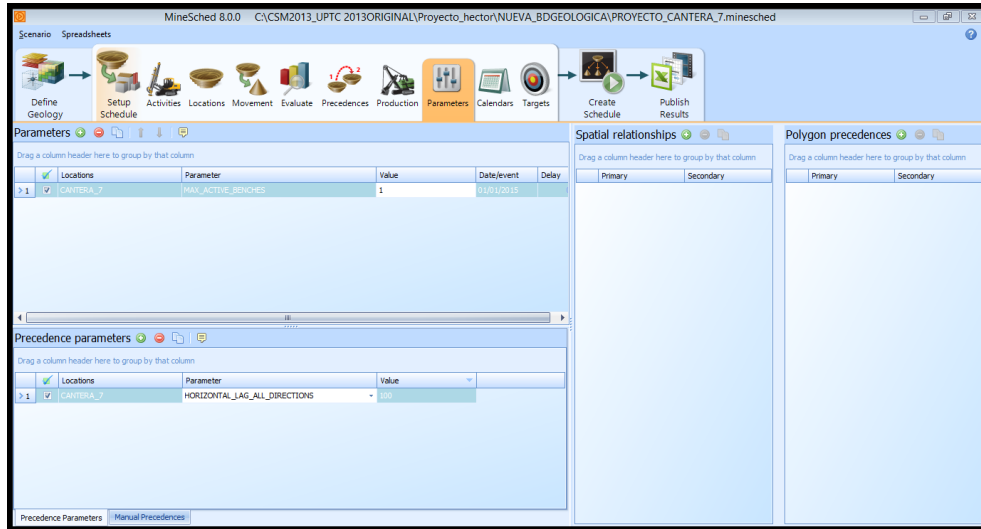
**Figura 44. Destino de movimientos de los materiales de clase**



**Fuente:** Datos de estudio – MineSched.

En esta etapa también se procede a incluir parámetros de producción, incluir la maquinaria y sus capacidades, número de bancos activos, parámetros de rendimientos los cuales en este caso configuramos como máximos rendimientos, y por supuesto también se entablaron fechas.

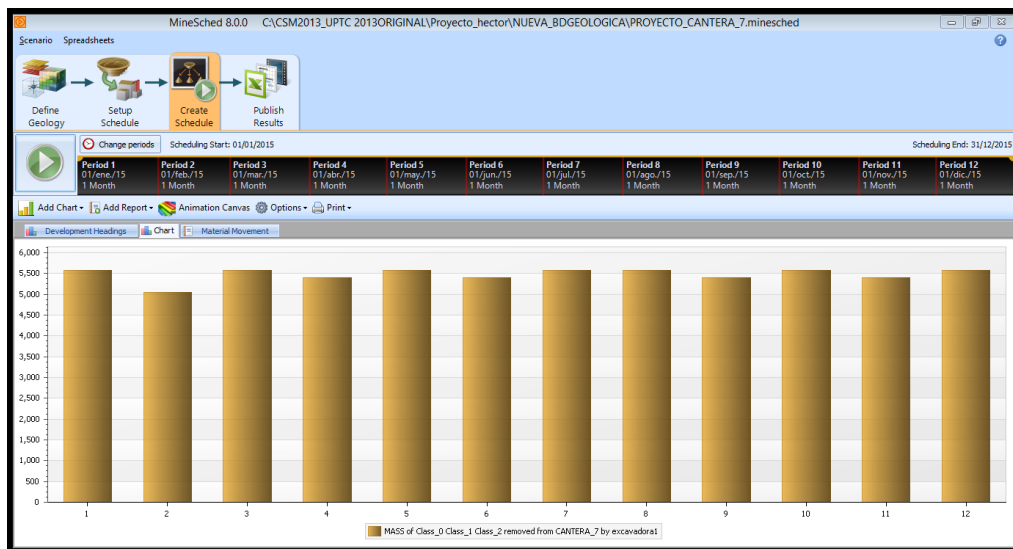
**Figura 45. Configuración de parámetros de producción.**



Fuente: Datos del estudio- MineSched.

Continuando con el proceso se llega a una de las últimas de las etapas la cual es la creación del planeamiento, en la cual se pueden generar distintos tipos de gráficos para ilustrar los movimientos de extracción de los diferentes materiales a través del tiempo establecido, para este caso un año.

**Figura 46. Gráfico de barras de la extracción de materiales en los diferentes periodos**



Fuente: Datos de estudio – MineSched.



**Figura 47. Tabla de movimiento de los materiales de clase en las diferentes fechas**

Period Number	Start Date	End Date	Source	Destination	Haul Route	Material	Volume	Mass	Length	caco3	fe	l	sg
1	01/01/2015	01/02/2015	CANTERA_7	stockpile_1		Class_1	1,292	3,100	199.5	97.52	0.050	93.16	2.400
2	01/02/2015	01/03/2015	CANTERA_7	stockpile_1		Class_1	1,167	2,800	180.2	97.55	0.050	93.18	2.400
3	01/03/2015	01/04/2015	CANTERA_7	stockpile_1		Class_1	1,292	3,100	199.5	98.13	0.040	93.64	2.400
4	01/04/2015	01/05/2015	CANTERA_7	stockpile_1		Class_1	1,250	3,000	224.0	98.23	0.038	93.72	2.400
5	01/05/2015	01/06/2015	CANTERA_7	stockpile_1		Class_1	1,146	2,750	341.2	98.73	0.031	94.09	2.400
6	01/06/2015	01/07/2015	CANTERA_7	stockpile_1		Class_2	146	350	32.2	96.26	0.070	88.42	2.400
7	01/07/2015	01/08/2015	CANTERA_7	stockpile_1		Class_1	625	1,500	137.9	98.59	0.040	93.85	2.400
8	01/08/2015	01/09/2015	CANTERA_7	stockpile_1		Class_2	625	1,500	137.9	96.26	0.070	88.42	2.400
9	01/09/2015	01/10/2015	CANTERA_7	stockpile_1		Class_1	646	1,550	142.5	98.59	0.040	93.85	2.400
10	01/10/2015	01/11/2015	CANTERA_7	stockpile_1		Class_2	646	1,550	142.5	96.26	0.070	88.42	2.400
11	01/11/2015	01/12/2015	CANTERA_7	stockpile_1		Class_1	700	1,681	106.4	98.59	0.040	93.85	2.400
							15,208	36,500	2,591.3	97.77	0.049	91...	2.400

Fuente: Datos de estudio - MineSched.

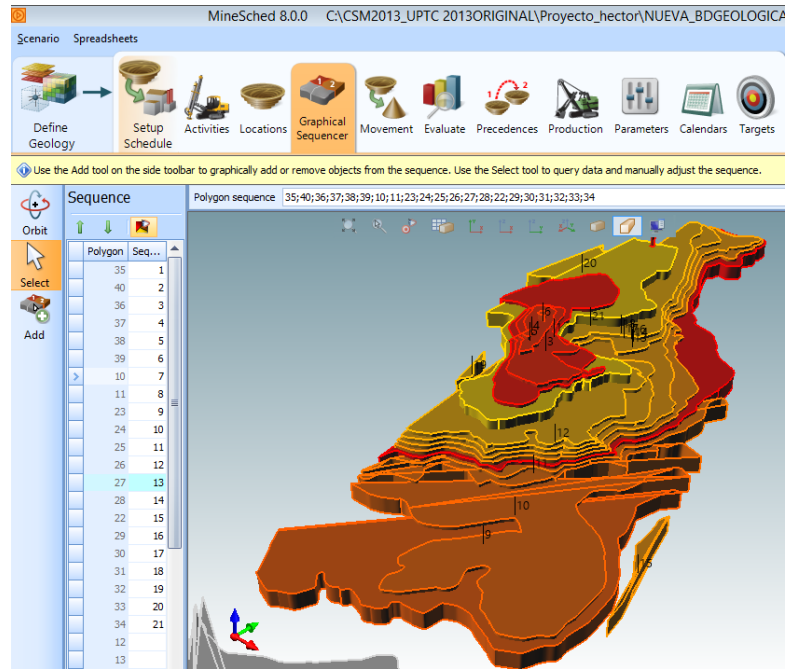
**Figura 48. Tabla de producción detallada en Minesched**

Period Number	Start Date	End Date	Activity	Mining Location	Resource	Quantity	Quantity Units	Polygon	Block	Fraction Mined	Northing	Easting	Elevation	Material	Volume	Mass	Length	caco3	fe
1	01/01/2015	01/02/2015	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			1	53.82 %	1174763.118	934813.514	283	Class_1	1,292	3,100	199.5	97.52	0.05
2	01/02/2015	01/03/2015	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			1	46.18 %	1174763.118	934813.514	283	Class_1	1,108	2,660	171.2	97.52	0.05
3	01/03/2015	01/04/2015	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			2	2.43 %	1174763.118	934803.514	283	Class_1	58	140	9.0	98.13	0.04
4	01/04/2015	01/05/2015	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			1	53.82 %	1174763.118	934803.514	283	Class_1	1,292	3,100	199.5	98.13	0.04
5	01/05/2015	01/06/2015	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			2	43.75 %	1174763.118	934803.514	283	Class_1	1,050	2,520	162.2	98.13	0.04
6	01/06/2015	01/07/2015	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			1	16.67 %	1174763.118	934793.514	283	Class_1	200	480	61.8	98.73	0.03
7	01/07/2015	01/08/2015	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			3	83.33 %	1174763.118	934793.514	283	Class_1	1,000	2,400	309.0	98.73	0.03
8	01/08/2015	01/09/2015	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			1	8.68 %	1174763.118	934853.514	278	Class_1	146	350	32.2	96.26	0.07
9	01/09/2015	01/10/2015	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			4	8.68 %	1174763.118	934853.514	278	Class_2	146	350	32.2	96.26	0.07
10	01/10/2015	01/11/2015	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			1	37.20 %	1174763.118	934853.514	278	Class_1	625	1,500	137.9	98.59	0.04
11	01/11/2015	01/12/2015	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			4	37.20 %	1174763.118	934853.514	278	Class_2	625	1,500	137.9	96.26	0.07
12	01/12/2015	01/01/2016	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			1	38.44 %	1174763.118	934853.514	278	Class_1	646	1,550	142.5	98.59	0.04
13	01/01/2016	01/02/2016	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			4	38.44 %	1174763.118	934853.514	278	Class_2	646	1,550	142.5	96.26	0.07
14	01/02/2016	01/03/2016	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			1	15.67 %	1174763.118	934853.514	278	Class_1	263	632	58.1	98.59	0.04
15	01/03/2016	01/04/2016	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			4	15.67 %	1174763.118	934853.514	278	Class_2	263	632	58.1	96.26	0.07
16	01/04/2016	01/05/2016	MINING	CANTERA_7	excavadora1	0			5	13.01 %	1174763.118	934843.514	278	Class_1	437	1,049	48.2	98.59	0.04
															15,208	36,500	2,591.3	97.77	...

Fuente: Datos de estudio – MineSched.

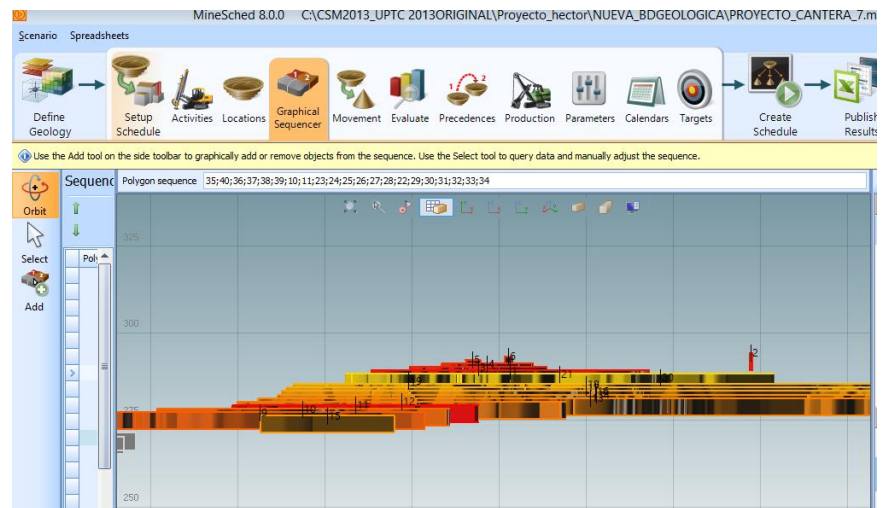
El software por ultimo también permite mostrar los polígonos o bloques de explotación y las secuencias de extracción de estos.

**Figura 49. Secuencia grafica de la explotación**



Fuente: Datos de estudio – MineSched.

**Figura 50. Secuencia grafica de explotación en perfil, observando los rangos de elevación.**



Fuente: Datos de estudio – MineSched.

## 6. VÍAS Y ACCESO

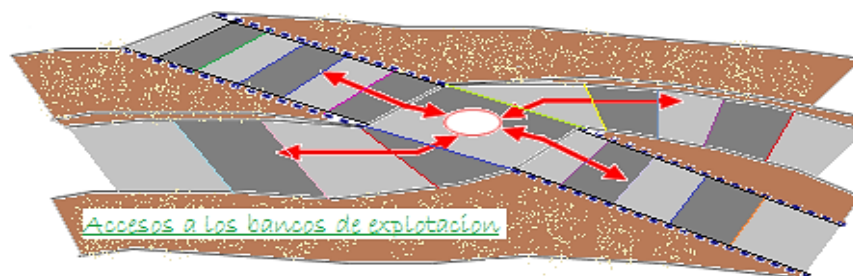
Los elementos de infraestructura más complejos de definir, diseñar toda vez que se deba asegurar los accesos con total seguridad a todos los puntos de la cantera. A pesar de que no es una súper cantera son las vías por donde los vehículos circulan dentro de la explotación y en especial, equipo de transporte.

Dos características de diseño de vías y accesos diferenciales, porque mientras en las vías la circulación es habitual y continua en los dos y a marcha rápida, en los accesos, que se utilizan de forma eventual y exclusivamente para el acceso a los bancos de las máquinas que efectúan el arranque u operaciones auxiliares, la circulación es mínima.

### 6.1. VIAS

Para el caso de “Peña Blanca” los accesos no deben sobrepasar, en ningún caso, 20% (11°), respecto a lo observado en campo su anchura, debe superar por lo menos en dos metros el ancho de vía de la unidad o maquina más ancha que vaya a circular por ellos, a lo que hay que sumar un arcén de dos metros entre el borde del acceso y el pie inferior de un talud, a la hora de definir y proyectar los accesos, justificando así la anchura, cuneta y sobreancho proyectados en función del tipo de acceso y de las características específicas de la maquinaria, lo cual permite definir, en plano y en detalle, el diseño de accesos. Con todo el tema preliminar al diseño, se garantizar que la maquinaria circule por los accesos sin ningún riesgo, una norma general de diseño es la de garantizar una circulación absolutamente segura y sin dificultades para las unidades a utilizar, sin contar con el vehículo de servicios de máquinas de operación que es de poco uso.

**Figura 51. Punto específico acceso a más de un banco**



**Fuente:** Datos de estudio- AutoCAD.

A medida que la mina descienda se tendrá en cuenta la calidad de superficie de rodadura, la estabilidad y posibilidad de frenado de los vehículos y se proyectaran con un perfil transversal que facilite el desagüe y un perfil longitudinal que evite la existencia de zanjas y se prevea la existencia de topes no franqueables, junto con

el correspondiente balizado en aquellas zonas donde exista riesgo de caída o vuelco, o donde la distancia mínima al borde superior de un talud sea inferior a los cinco metros de terreno absolutamente firme. Completando así con la adecuada señalización.

Para hacer nuestra proyección y diseño de vías en la mina “Peña Blanca”, debe ser tal que las unidades de transporte se desplacen sin perder ritmo de operación.

Los dos primeros parámetros tienen que ver básicamente con el rendimiento y coste de transporte, pero también con la seguridad. La determinación de la pendiente óptima de una vía se realiza a partir de las curvas características de los equipos, considerando la velocidad y capacidad de frenado. Los mejores rendimientos y costes, junto a condiciones de seguridad adecuadas se obtienen con pendientes entorno al 8%, incluyendo una resistencia de rodadura normal. No obstante en cada caso deberá tenerse en cuenta si el acarreo es ascendente o descendente.

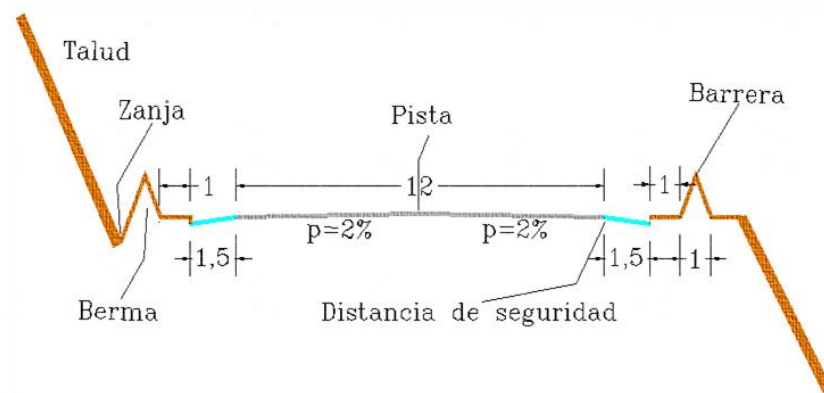
**Figura 52. Visual en planta vías, mina Peña Blanca**



**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

En plano de diseño las vías se representan en planta y perfil longitudinal y transversal y representación de ejes, bordes, centros y radios de curvaturas en curvas, acuerdos en entronques, etc. Se analiza su diseño para la elección de la sección expuesta.

**Figura 53. Diseño de sección de vías para camiones de 30 Ton.**

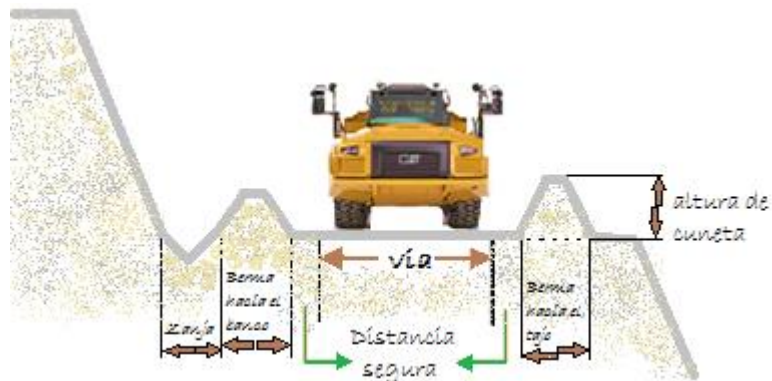


**Fuente:** Datos de estudio - AutoCAD.

## 6.2 PISTAS, BERMAS, ZANJAS Y CUNETAS

En el diseño de rampas se consideran ajustes, se toma en cuenta que una rampa se compone de varios tramos que no necesariamente tendrán las mismas características.

**Figura 54. Vías para tránsito de camiones**



**Fuente:** Datos de estudio.

La pendiente, el ancho de cada tramo debe ser tal que los equipos que circulen por la rampa alcancen rendimientos productivos sin sufrir deterioros en su funcionamiento ni riesgos en la operación.

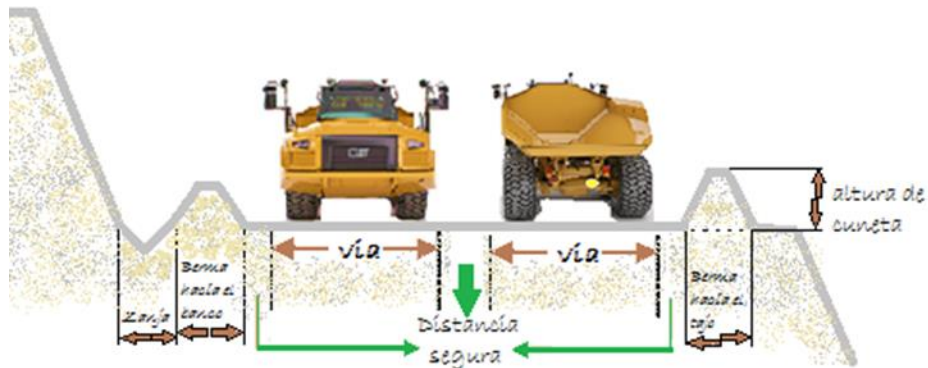
La zanja se construye para canalizar las aguas de drenaje dentro de la mina, si no se hace se corre el riesgo de que dañen los vías.



Se implementa para la cantera un ancho de 1 metro por una profundidad de 50 centímetros, lo cual dependerá de las condiciones de drenaje de la zona (lluvias, escorrentías superficiales o subterráneos).

Las cunetas aguantan a los vehículos en caso de derrumbe, por ello la cuneta que está hacia el tajo tendrá que ser más alta de modo que pueda detener efectivamente a cualquier vehículo en una emergencia sin que caiga.

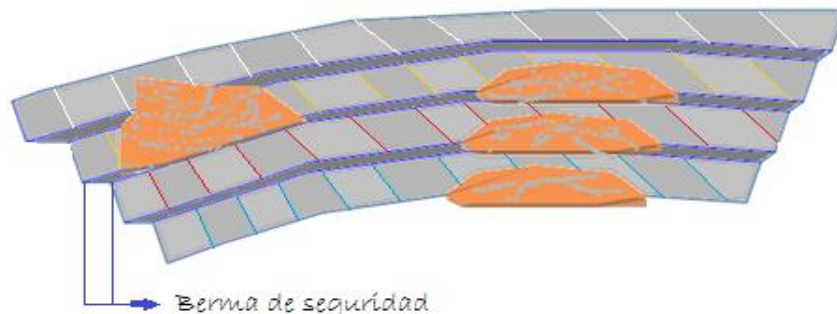
**Figura 55. Vías para cruce de camiones**



**Fuente:** Datos de estudio.

- Bermas de seguridad

**Figura 56. Bermas de seguridad**



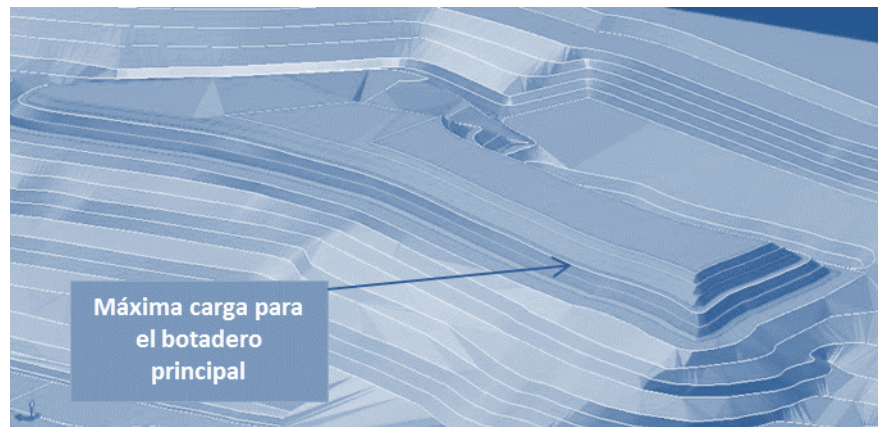
**Fuente:** Datos de estudio - AutoCAD.

Las bermas de seguridad, se diseñan con la probabilidad que ocurra un siniestro geomecánico, como el desplazamiento de una cuña o volcamiento de roca (según sea el caso geomecánico en el avance de "Peña blanca"), es de mucha importancia realizar un buen monitoreo, ya que el ángulo de talud final de la zona estudiada depende de la longitud de berma recomendada, igualmente el ancho de bermas.

### 6.3. MANEJO Y DISPOSICIÓN DE ESTÉRILES (Botadero)

Para el material estéril proveniente de las voladuras y arranques de la caliza, se utiliza la excavadora, y volquetas, cuya disposición final se ha diseñado un área de botadero denominado Norte, con bancos de 3m de alto y bermas de 5m para su sostenibilidad de material estéril, para su posterior adecuación con capa vegetal. Para la adecuación y ampliación del botadero se utilizará un buldócer.

**Figura 57. Vista botadero principal**

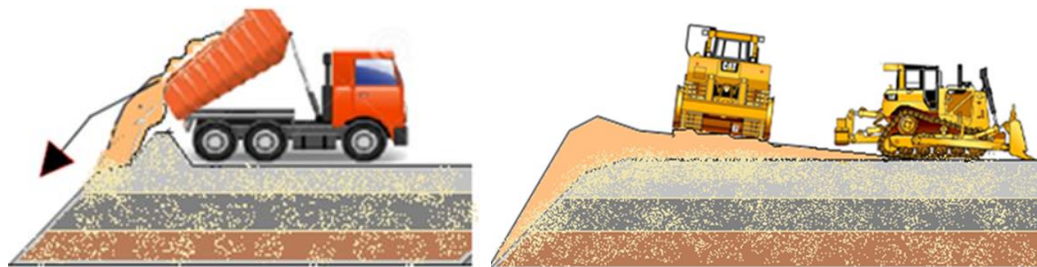


**Fuente:** Datos de estudio - Surpac Geovia.

El lugar donde se depositarán los escombros debe ser geomecánicamente apto, ya que la gran cantidad de material a depositar puede generar distribución de esfuerzos. El sector elegido carece de importancia económica a futuro, es decir se evidencia la inexistencia de recursos útiles y la zona elegida no figura un daño ambiental potencial, la cual garantiza un adecuado análisis al respecto.

- Mantenimiento de botaderos
- Operación en botaderos: Así como se muestra en la figura 50.

**Figura 58. Descargas hacia el talud y sobre el botadero**

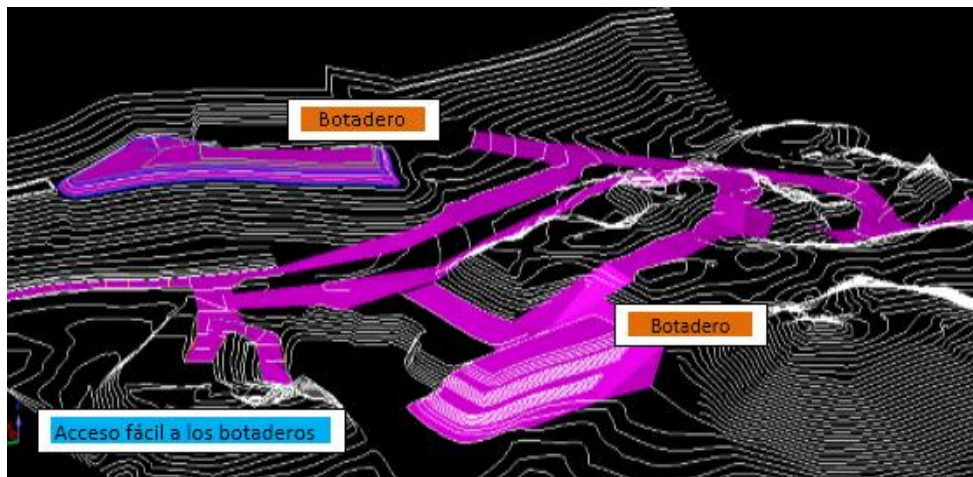


**Fuente:** Datos de estudio.

## 6.4. PARAMETROS DE DISEÑO

Se tiene para definir botaderos de materiales distintos al mineral principalmente tratado, como son carbonatos, arcillas, gravas, arenas, etc., que de una u otra manera pueden tener interés económico. La mejor forma de obtener un máximo beneficio es pensar en todo, es decir ordenar los recursos, de modo que siempre exista la posibilidad de aprovechar uno o más recursos.

**Figura 59. Panorámica botadero**



**Fuente:** Datos de estudio – Surpac Geovia.

Además del botadero principal, se tiene en construcción uno de contingencia para labores de nuevos frentes de explotación, que normalmente hace parte de infraestructura minera básica. En la figura 51 se muestra el diseño del nuevo botadero. El volumen calculado para este botadero denominado secundario para su posición se da a continuación: Volumen de 34.000 m<sup>3</sup>. Se trata siempre de obtener por medio del buldócer una compactación 20% del material estéril como es explica anteriormente. La manera de construir el botadero para este caso es a partir de terrazas ascendentes, en la parte interior de la berma se realiza pendientes aproximadamente 3%, donde nuevamente se inicia una nueva terraza con el fin de controlar la escorrentía de cara a los taludes, para luego hacer le evacuación lateralmente hacia las vías o drenajes naturales.

## 6.5. INFRAESTRUCTURA

La mina debe poseer accesos carreteables con especificaciones buenas tecnificada, se deberá proporcionar un pequeño modulo u oficina de supervisión con su respectivo sanitario que sirva como taller básico, almacén, y pozo séptico.



Entre otras obras de infraestructura, estarán a disposición conforme avance el plan minero: patio de circulación y maniobras, vías internas de la cantera, zona de parqueo, botadero, piscina de sedimentación y un vivero.

## **6.6. PLAN DE CIERRE DE LA EXPLOTACIÓN Y ABANDONO**

El plan de cierre busca que, una vez finalizada la vida útil de la mina y de acuerdo con la legislación aplicable y los lineamientos corporativos, se cumpla con los requisitos que permitan integrar el área intervenida a usos de suelos compatibles con el ordenamiento territorial y las características definitivas del área, buscando minimizar o mitigar los efectos ambientales adversos y potenciar los positivos o favorables sobre el ambiente y el medio social.

El cierre incluye actividades de desmantelamiento de instalaciones y estructuras residuales; tratamiento y gestión de residuos, remodelación topográfica, estabilización de superficies mediante el control de erosión y acondicionamiento de drenajes, preparación y aporte de suelo, enmiendas y abonados; revegetalización y reforestación, y rehabilitación de áreas.

**6.6.1. Alcance.** El área que aplica a este plan de cierre comprende el área intervenida al año 2036, en la zona se identifica un área de frentes abandonados y un área de infraestructura, la cual comprende las vías internas y la zona de los depósitos de estériles y el almacén de mármol dentro de la mina.

**6.6.2. Cierre inicial.** Para el diseño del plan de cierre inicial se tiene como principio básico procurar la integración de los terrenos recuperados o rehabilitados según su potencial, restricciones de uso y capacidad de carga como zonas de reserva natural, con los procesos ambientales inducidos o como zonas productivas de interés agroindustrial o recreacional, con una visión de sostenibilidad en el mediano y largo plazo. Identificando los beneficios para las comunidades vecinas y el entorno natural, y en armonía con el ordenamiento territorial de los municipios del área de influencia.

El área de los frentes de calizas tendrá una dedicación a plantaciones forestales y sucesiones naturales con uso potencial de conservación, protección – producción, refugio de fauna nativa y turismo ecológico. Los taludes en roca podrán quedar expuestos, integrándose al paisaje y al uso recreativo, las características climáticas y presencia de materiales vegetales indican una alta probabilidad de colonización por especies rastreras.

**6.6.3. Actualizaciones al plan de cierre inicial.** El plan de cierre debe ser actualizado periódicamente de conformidad con la duración del proyecto minero. A través del seguimiento y monitoreo respectivo se hará su actualización de acuerdo con las modificaciones al desarrollo del proyecto y todos aquellos aspectos que los diferentes planes de cierre.

**6.6.4. Cierre progresivo.** El cierre progresivo incluye las actividades que pueden ser implementadas en forma progresiva desde la operación del proyecto minero. Este cierre progresivo se realizará principalmente en los bloques de explotación definidos en la secuencia minera una vez se haya agotado el recurso definido y a medida que el avance de la explotación lo permita. Las siguientes son las actividades propuestas a desarrollar durante el cierre progresivo.

- Conformación de taludes
- Estabilización de taludes
- Señalización de áreas
- Puntos de acceso
- Vías y caminos internos

**6.6.5. Cierre temporal.** El plan de cierre temporal permitirá la protección de las zonas de explotación e infraestructura de forma tal que estas puedan volver a su desarrollo normal al momento del cese del cierre temporal de la explotación en el menor tiempo posible. El cierre temporal podrá darse por circunstancias económicas o del mercado, operacionales o por requerimiento de las autoridades mineras y ambientales. El cierre temporal será por un período inferior a 1 año, al final del cual se reiniciará la explotación.

Las principales actividades dentro del plan de cierre temporal serán:

- Instalación de barreras que impidan el acceso a los diferentes equipos y frentes de trabajo.
- Vigilancia de la infraestructura existente para evitar hurtos y accidentes.
- Señalización de los frentes de explotación.
- Socialización de la situación del proyecto con las comunidades.
- Inspecciones geotécnicas.
- tratamiento correctivo a las laderas y taludes.
- Actividades periódicas de limpieza y mantenimiento de canales, cunetas.
- Desarrollar monitoreo de los sedimentadores existentes.
- Instalar señalización alrededor de la mina.

**6.6.6. Plan de cierre final.** El plan de cierre final será actualizado con base en las modificaciones que se le hagan al plan inicial y en general al proyecto minero. Este plan incluye la ejecución propiamente dicha de las actividades del cierre y la definición de los diseños de ingeniería para el desmantelamiento, la demolición, la estabilización del terreno, la revegetalización, la recuperación de hábitats, la reconversión laboral, la propiedad y acceso a tierras. El cierre final será implementado cuando cesen las operaciones de extracción y se hayan agotado los recursos y reservas definidos a partir del modelo geológico y el diseño minero.

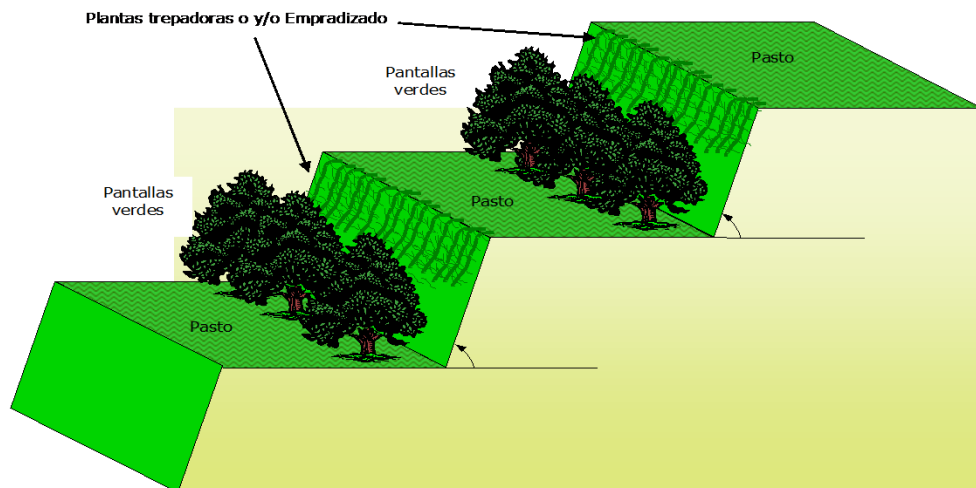
Cuando finalice la explotación de las calizas y se vaya a realizar el cierre final de la mina se harán los trabajos de perfilado de taludes y el ordenamiento de drenajes e implementación de las estructuras de vertimiento y descole que garanticen la estabilidad del terreno y la posibilidad de un uso final.

Una vez realizado el perfilado y reconformación de taludes, se colocará la capa de suelo orgánico removida de los diferentes bloques y que ha sido almacenado para tal fin y se realizará el proceso de revegetalización.

Se realizará el desmantelamiento de las instalaciones existentes, básicamente talleres. Los elementos como tejas, puertas, cerchas serán aprovechables y los demás elementos serán llevados a depósitos definidos para tal fin. El plan de cierre final debe incluir el detalle de:

- Rediseño de canales de drenaje
- Temas clave de tipo socio-económico

**Figura 60. Cierre final y terminación de la operación**



**Fuente:** Datos de estudio - Cementos Argos S.A.

**6.6.7. Actividades de Post- cierre.** Después de concluidos los trabajos de remediación final dentro del complejo minero, se llevará a cabo labores de monitoreo y mantenimiento durante por lo menos cinco años, o hasta que se demuestre que se cumplen con los objetivos de cierre sin necesidad de actividades de mantenimiento. Estas labores de mantenimiento y monitoreo de post-cierre tendrán por objeto evaluar la efectividad de las medidas de remediación del lugar y reparar o mitigar cualquier problema que se identifique. Se diseñarán programas específicos de monitoreo como parte del plan de remediación final: monitoreo de estabilidad física, monitoreo de estabilidad química y monitoreo social.

## 7. MEDIDAS AMBIENTALES DEL PROYECTO

### 7.1. PLAN DE OBRAS DE RECUPERACIÓN GEOMORFOLÓGICAS PAISAJÍSTICA Y FORESTAL DEL SISTEMA ALTERADO

En la mina Peña Blanca el avance general de la explotación de las calizas se realizara de E –W, conformando los bancos laterales y los cuales se irán recuperando a partir de la secuencia del planeamiento, conforme se dejan disponibles los bancos finales de los niveles superiores, iniciando en el nivel 284 y terminando en el nivel 265.

Las obras de recuperación dependen del perfil final de la explotación y de la calidad, ya que el método de explotación es en bancos descendentes, es factible llegar rápidamente a la conformación de la geometría final. La experiencia demuestra que los taludes son muy estables, además que las características químicas del mármol favorece el crecimiento en corto tiempo de la vegetación, después de haber terminado la explotación, puede iniciarse la restauración del paisaje.

Para el manejo de la erosión se planea:

- Control de taludes desde el diseño minero.
- La revegetalización de los taludes.
- Implementar programas de reforestación con especies nativas.

El programa incluye una preparación del terreno con arcilla y suelo orgánico y la plantación cuidadosa de las especies nativas, buscando que las especies se adapten al sitio para obtener un buen desarrollo y calidad.

Se propone así realizar la revegetalización con plantas formadoras o fijadoras de nitrógenos y así incrementar este nutriente al suelo.

Especies arbustivas recomendadas:

- Coronillo
- Lengua de vaca
- Chingale

Especies arbóreas:

- ABARCO (*Cariniana pyriformis*)
- CEDRO (*Cedrela Odorata*)
- SAPAN (*Clathrotropsis brunnea*)

## 8. RENDIMIENTO DE EQUIPOS Y COSTOS DE PRODUCCIÓN

Todo proyecto minero se debe evaluar la viabilidad económica mediante la comparación de costos que este implica, los beneficios que este tendrá y ver si es recomendable su ejecución. En este capítulo se analizaran costos que involucran la extracción de roca caliza y observar si es viable extraer este producto o no.

Observaciones:

1. Por ser un proyecto en marcha la maquinaria, equipo e inversiones existentes ya se encuentran depreciados.
2. La mina ha venido realizando operaciones de explotación.

### 8.1. INVERSIONES

Las inversiones bien sea a corto o a largo plazo, representan bienes que la empresa invierte con el fin de obtener un rendimiento de ellos. En el caso de la cantera “Peña blanca” sus inversiones están en bienes muebles como lo son los equipos para la extracción y beneficio del mineral y bienes inmuebles tales como oficinas y almacén.

**8.1.1. Inversiones existentes.** Son inversiones que en la actualidad la empresa tiene disponibles como equipos e infraestructura los cuales con el uso y pasar del tiempo se van deteriorando y perdiendo su valor (depreciando) teniendo la necesidad de actualizarlos por unos más modernos.

**8.1.2. Inversiones a realizar.** Por tratarse de un proyecto minero en ejecución, donde ya se tiene una pequeña infraestructura y el equipo necesario para operaciones mineras, no se prevé nuevas inversiones a realizar por estos conceptos.

### 8.2. FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN

Los recursos de la mina de caliza, son propios de la empresa Cementos Argos S.A. y los recursos que se obtienen por la venta del cemento que producen que producen.

### 8.3. AMORTIZACIÓN

Se puede hacer la reducción parcial de los montos de una deuda en un plazo determinado de tiempo. En el caso de la mina “Peña Blanca” la amortización no aplica ya que los recursos son propios.

## 8.4. DEPRECIACIÓN

Este mecanismo ayuda a reconocer el desgaste que sufre un bien por el uso que se haga de él. Cuando un activo es utilizado para generar ingresos, este sufre un desgaste normal durante su vida útil que al final lo lleva a ser inutilizable. Por ser un proyecto en marcha la maquinaria, equipo e inversiones existentes ya se encuentran depreciados, pero dicha inversión a la fecha todavía posee valor comercial, por tanto se evaluará dicha depreciación de la siguiente manera:

- . Maquinaria y equipos: 20% del costo inicial.
- . Edificaciones: 10% del costo inicial.

En el siguiente cuadro se indicará el valor de la inversión inicial, seguida del respectivo valor con su depreciación ya calculada. Este valor total se asume como la inversión inicial para los siguientes 5 años de prórroga de explotación.

Nota: el valor del terreno no se deprecia.

### Cuadro 13. Inversión depreciada

CONCEPTO	VALOR INICIAL	VALOR DEPRECIADO
Track Drill	80.000.000	8.000.000
Excavadora volvo EC240B	220.000.000	22.000.000
Buldócer D9T	240.000.000	24.000.000
Volquetas tipo Brigadier	70.000.000	7.000.000
Campero tipo PICK UP	60.000.000	6.000.000
Campamento	30.000.000	3.000.000
TOTAL		70.000.000

Fuente: Datos de estudio.

## 8.5. COSTOS DE OPERACIÓN

Los gastos necesarios para mantener el proyecto, líneas de procesamiento o un equipo en funcionamiento. Los cuales se dividen en costos fijos y costos variables.

**8.5.1. Costos fijos.** Se presentan dependiendo el volumen de producción, ventas o servicios tercerados. Su valor no depende del número de unidades producidas o vendidas.

Costos de servicios públicos del campamento. Es necesario brindar a los trabajadores y encargados de la mina las mejores condiciones de trabajo, para esto es necesario adquirir todos los servicios apropiados para el funcionamiento de las instalaciones.

La evaluación económica se concibió pensando en los principales rubros pagados por la mina para la producción de la caliza. Para lograrlo, se hizo una consideración general de cada equipo minero, su utilización y costo de posesión y operación aproximada, tomadas en horómetros de control en cada equipo.

Para el personal, infraestructura, estudios varios, también se hizo su correspondiente consideración. A continuación se presenta el resumen de actividades.

**8.5.2. Equipo requerido.** Para la extracción de la caliza y la operación en cantera se requiere la utilización de un equipo mínimo: Track Drill para el arranque de la caliza y estériles, excavadora y buldócer para completar el arranque y cargue del material y conformación del botadero, igual para el cargue de volquetas con materia prima, para el personal una pick-up, para atender las necesidades básicas de las diligencias de la mina. Con mes de 24 días y día de 8 horas. En el cuadro 14 se presenta el equipo básico y su rendimiento.

**Cuadro 14. Equipo minero básico**

EQUIPO	CANTIDAD	CAPACIDAD m3 - CUCHARA	Rend. MCB/H	Rend. MCB/MES
Track Drill	1		80	15.360
Excavadora volvo EC240B	1	1	32	12.096
Buldócer D9T	1		290	52.920
Volquetas tipo Brigadier	1	12	66	12.749
Campero tipo PICK UP	2		-	-

**Fuente:** Datos de estudio.

**8.5.3. Costos.** Los costos, se establecen para la operación minera del arranque, cargue y transporte hasta la zona de disposición de estériles o acopio de materia prima. En trayectos hacia la mina o infraestructura no se consideran costos incurridos por el consumo de explosivos y seguridad.

Los costos de equipos, mano de obra, insumos, lubricantes, repuestos mantenimiento, infraestructura, análisis técnicos, se llevan a costos unitarios y a dólares por tonelada de caliza, para el análisis se manejó una tasa de cambio para el dólar de \$ 2800.00

**8.5.4. Rendimiento de equipos.** En el cuadro 15 se presenta el rendimiento teórico de los principales equipos mineros, los que se afectaron por los índices de rendimiento así:

- Disponibilidad mecánica del equipo 0.80
- Eficiencia del operador 0.83
- Uso de la disponibilidad 0.90

Con lo anterior se tiene un 0.60 como factor general de eficiencia en la operación.

**8.5.5. Producción mensual:** 10.000 ton caliza  
1.372 MCB de estéril  
RD año 1 (ton estéril / ton caliza) 0,5 promedio

**Cuadro 15. Rendimiento teórico de equipos mineros y porcentaje de utilización**

EQUIPO	Rendimiento	NECESIDAD	UNIDADES	%	UTILIZACIÓN
	MCB/MES	EQUIPOS % - MES	EQUIPO UTILIZADAS	UTILIZACIÓN MES	EQUIPO H/MES
Track Drill	15.360	64%	1	71%	137
Excavadora volvo EC240B	12.096	81%	1	100%	210
Buldócer D9T	52.920	50%	1	80%	160
Volquetas tipo Brigadier	12.749	77%	1	86%	165
Campero tipo PICK UP	0	80%	1	80%	154

**Fuente:** Datos de estudio.

**8.5.6. Producción de caliza.** Los análisis de costos, se hicieron para una producción anual de 120 y 240 mil toneladas de caliza de primera calidad. Se tomó mes de 24 días y día de 8 horas de trabajo. Con los rendimientos de los equipos, se tomaron los porcentajes de utilización según la producción establecida y la RD más desfavorable 0,5 MCB/Ton de caliza. Con los porcentajes se calcularon las horas – equipo requeridas para la operación.



### Cuadro 16. Costos de posesión de los equipos mineros

DESCRIPCION	Utilización equipo horas / mes	HORAS DÍA	COSTO US \$/HORA	COSTO US \$/DIA
Track Drill	137	5.69	0.81	4.6
Excavadora volvo EC240B	210	8.46	4.04	58.4
Bulldócer D9T	160	6.75	6.82	11.9
Volquetas tipo Brigadier	165	6.86	1.59	10.9
Campero tipo PICK UP	154	6,40	0,33	2,1
Sumas				87,9

Fuente: Datos de estudio.

**8.5.7. Costos de equipos.** En los cuadros 16 y 17 se muestran los resultados de costos de posesión y operación de los equipos mineros.

### Cuadro 17. Costos de operación de los equipos mineros

Costos de combustibles filtros y lubricantes

DESCRIPCION	% Utilización	HORAS DÍA	COSTO US \$/HORA	COSTO US \$/DIA
Track Drill	71	5.69	2.1	8.7
Excavadora volvo EC240B	100	8.46	8.58	78.6
Bulldócer D9T	80	6.75	12.63	15.6
Volquetas tipo Brigadier	86	6.86	10.04	45.0
Campero tipo PICK UP	80	6,40	4.30	15.0
sumas				162.9
Producción diaria: 370 Ton				
Costo por Ton caliza: 0,46 US\$/Ton				

Fuente: Datos de estudio.

Costos de reparaciones, llantas, repuestos y mano de obra

DESCRIPCION	% Utilización	HORAS	COSTO	COSTO
		DÍA	US \$/HORA	US \$/DIA
Track Drill	71	5.69	6.0	20.7
Excavadora volvo EC240B	100	8.46	8.1	88.6
Bulldócer D9T	80	6.75	10.37	15.6
Volquetas tipo Brigadier	86	6.86	10.04	28.0
Campero tipo PICK UP	80	6,40	6.30	32.0
sumas				184.9

Producción diaria: 370 Ton  
Costo por Ton caliza: 0,5 US\$/Ton

Fuente: Datos de estudio.

**8.5.8. Costos de personal.** La mano de obra en Colombia conforma uno de los rubros más importantes a tener en cuenta dentro de las organizaciones, debido a la influencia significativa que puede llegar a tener en un momento dado sobre los costos de un producto o un servicio. En el cuadro 18 se presenta una relación del personal directo, para la operación de la mina. Se usó un factor de 1.63 para prestaciones legales.

**Cuadro 18. Costos personal directo**

PERSONAL DIRECTO SALARIOS Y PRESTACIONES		Dólar tasa cambio:			\$ 2.800	por dólar
DESCRIPCION	CANT.	BÁSICO US\$/dia	EXTRAS US\$/dia	Prestac US\$. /dia.	TOTAL US\$/DIA	
Campero tipo PICK UP Conductor	1	8,9	0	5,6	14,6	
Operador excava.	1	8,3	0	5,3	13,6	
Operador track	2	16,3	0	10,6	27,2	
Operador bulldócer	1	8,3	0	5,3	13,6	
Volqueta Conductor	1	7,7	0	4,9	25,2	
Op. Compre y O. Varios	1	4,8	0	3,0	7,8	
<b>TOTAL</b>					<b>102,0</b>	<b>\$</b>
<b>Producción diaria:</b>	100	Ton				
<b>Costo por Ton:</b>	0,21	US\$/Ton				

Fuente: Datos de estudio.

**8.5.9. Otros costos.** En los cuadros 19 y 20, se presentan los costos de infraestructura y estudios varios, todos como un costo unitario por tonelada de caliza.

**Cuadro 19. Costos de infraestructura de superficie**

**PROGRAMA MINERO** Tasa cambio Dólar: \$ 2.800 por dólar

<b>INFRAESTRUCTURA DE SUPERFICIE PROYECTADA</b>					
<b>Descripción</b>	<b>Vr Unitario U\$</b>	<b>Vigencia Años</b>	<b>Producción en periodo</b>	<b>U\$ / Ton</b>	
Ramada	2.143	8	290.000	0,0074	
Patio	714	8	290.000	0,0025	
Parqueadero	357	8	290.000	0,0012	
Piscina	2.857	8	290.000	0,0099	
<b>TOTAL</b>	<b>6.071</b>			<b>0,02 U\$/Ton</b>	
				<b>59 \$/Ton</b>	

**Fuente:** Datos de estudio.

El cuadro 20 muestra los costos de estudios básicos para la mina.

**Cuadro 20. Costos estudios varios**

<b>ESTUDIOS VARIOS</b>				
<b>Descripción</b>	<b>U\$ Unitario</b>	<b>Vigencia</b>	<b>Prod. en el periodo Ton</b>	<b>Valor por Tonelada US\$</b>
Perforaciones	128.571	20 años	2.400.000	0,0536
Geología	21.429	5 años	600.000	0,0357
Minería	5.357	5 años	600.000	0,0089
<b>Otros</b>	4.286	1 año	120.000	0,0357
<b>TOTAL</b>				<b>0,1339US\$/Ton</b>
				<b>375\$/Ton</b>

**Fuente:** Datos de estudio.

Se incluyeron los costos incurridos en la exploración geológica, los trabajos de fotointerpretación con control de campo y los respectivos estudios mineros. No se incluyó el de salud ocupacional ni impacto ambiental.

**8.5.10. Resumen de costos.** En el cuadro 21 se presenta un resumen de los costos para las actividades mineras: básicas y una producción estable de 120.000 toneladas año.

**Cuadro 21. Resumen de costos unitarios**

Dólar: Tasa de cambio \$2.800.00 por dólar

Descripción	Costo por Ton US\$	Costo por Ton Pesos	Referencia [Tab]
Personal			
Directos	0,21	593	Personal
Equipos			
Posesión	0,21	583	Posesión
Combustibles y lubricantes	0,46	1.291	Repara
Reparaciones, repuestos mano obra, llantas	0,5	1.393	Repara
Infraestructura superficie	0,02	59	Infra
Explosivos	2.0	5.600	
Estudios varios	0,13	375	Estudios
<b>TOTAL</b>			
<b>Costo por Tonelada</b>	<b>3,53</b>		<b>US\$</b>
		<b>9.893</b>	<b>\$/Ton</b>

**Fuente:** Datos de estudio.

Un análisis similar para 240.000 toneladas de caliza anual tiene un costo de \$ 8.700 por tonelada o el equivalente a US\$ 3.1 a una tasa de cambio de \$ 2.800 por dólar.

## 9. CONCLUSIONES

Los datos obtenidos a través del manejo del software Surpac – MineSched, para la mina “Peña Blanca” cantera 7 nos da certeza de la vida de la mina en los próximos 15 a 20 años (en cualquier frente de explotación abierto a futuro). Además, la ejecución perforaciones permanentes confirmaría el crecimiento o decrecimiento del yacimiento de las Reservas en Zona Baja, media y alta.

Considerando el ritmo de producción de la mina, se tiene una vida útil del proyecto, la tarea de realizar constantemente topografía donde se le hace seguimiento a través del software Surpac - MineSched dando así aumentos significativos en la producción.

La influencia de la zona no se presenta fallas geológicas de mayor influencia, únicamente algún diaclasado de desplazamiento que no constituye ningún cuidado, teniéndose en cuenta este aspecto solo para la estabilidad de la explotación, tomado del análisis cinemático de estabilidad de taludes con el software de uso libre Dips.

El diseño de voladura planteado realizado en el software de uso libre JKBENCH, sirve como guía teórica para la mina. Es preciso realizar un seguimiento y control de las variables estimadas tanto en el diseño de la malla de perforación como en la obtención de cargas y concentraciones de explosivos.

La presencia en la operación de un método de minado masivo, como es el implementar taladros largos, es mantener presente como gran opción en caso de una decisión en el cambio del método de explotación que se esté utilizando, la cual se verá reflejada en la evaluación económica para los siguientes años de operación.

En el orden operativo ostentado, (desde la Zona Alta y finalmente Zona Baja), el riesgo operativo se reduce con relación a la etapa pre-operativa, en donde se trabaja con aumento de inversión y mayor riesgo en donde se debe tener presente el factor de seguridad para el caso.

## 10. RECOMENDACIONES

Para el caso de la mina “Peña Blanca”, la implementación de perforaciones constantes ayudará con el crecimiento del tonelaje de reservas, Información de gran importancia también en la elaboración de un planeamiento con mayor detalle y exactitud (en las diferentes zonas de la cantera).

La planificación de minado masivo, orientado a labores en los diferentes frentes de explotación abiertos, la idea es clara y es de darle más operación minera con equipos ya sea de la empresa o contratistas para un alto rendimiento en cuanto a avances y producción, con equipos de alta disponibilidad mecánica es un tema urgente e inmediato, para poder cumplir este planeamiento dentro de la vida útil de la mina como ya se estimó anteriormente.

El control diario de costos por área o frentes de explotación, llevara al éxito de la empresa, para ello se recomienda implementar un área de costos independiente, el cual controlará los mismos de acuerdo al planeamiento.

La implementación de algunas herramientas informáticas (software CAD), como lo es GEMCOM SURPAC- MINEX, VULCAN, MINESCHED, MINESIGHT, serán muy importantes en el modelamiento y secuenciamiento de las canteras siguientes a explotar a futuro.

## BIBLIOGRAFIA

- HERRERA, Juan, Métodos de Minería a Cielo Abierto. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Octubre 2006.
- Gonzales, Vallejo, Luis. Ingeniería Geológica. Prentice Hall. Madrid. 2002.
- HERRERA, Juan, Diseño de Explotación de Canteras. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Noviembre 2007.
- CÓDIGO DE MINAS, ley 685 de 2001. Ministerio de minas y energía, imprenta.
- C.H. FRITZSCHE. Tratado de labores de minas. España. Labor SA. Tomo 2. 1965.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Santafé de Bogotá DC. ICONTEC, 2007. NTC 1486.
- COLOMBIA. AGENCIA NACIONAL MINERA (ANM). Glosario Técnico Minero. Bogotá D.C. Agosto de 2003.
- LOPEZ JIMENO. Carlos. Manual de Perforación y Voladura de Rocas. España, Madrid. 2003.
- PLAN DE TRABAJOS Y OBRAS, CEMENTOS ARGOS S.A.
- SOFTWARE GEOVIA SURPAC – MINESCHED.
- SOFTWARE PARA DISEÑO DE VOLADURAS JKBENCH USO LIBRE.

# ANEXOS