

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

VERIFICACIÓN DE LA OPCIÓN DE PRODUCCIÓN MÁS FAVORABLE A PARTIR DE DISEÑOS DE EXPLOTACIÓN A LARGO PLAZO DEL FRENTE 02, CANTERA CARAYACA UBICADA EN TACAGUA, DISTRITO CAPITAL.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por el Br. Moya B. Freddy J.

Para optar al Título
de Ingeniero de Minas

Caracas, noviembre del 2015

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

VERIFICACIÓN DE LA OPCIÓN DE PRODUCCIÓN MÁS FAVORABLE A PARTIR DE DISEÑOS DE EXPLOTACIÓN A LARGO PLAZO DEL FRENTE 02, CANTERA CARAYACA UBICADA EN TACAGUA, DISTRITO CAPITAL.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Aurora Piña

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Marianne Garrido

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Moya B. Freddy J.
Para optar al Título
de Ingeniero de Minas

Caracas, noviembre del 2015

Caracas, noviembre de 2015.

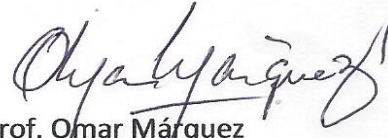
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Freddy Moya B., titulado:

“VERIFICACIÓN DE LA OPCIÓN DE PRODUCCIÓN MÁS FAVORABLE A PARTIR DE DISEÑOS DE EXPLOTACIÓN A LARGO PLAZO DEL FRENTE 02, CANTERA CARAYACA UBICADA EN TACAGUA, DISTRITO CAPITAL”


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



Prof. José Contreras
Jurado



Prof. Omar Márquez
Jurado



Ing. Aurora Piña
Tutora Académica

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo a las personas más valiosas que me dan su apoyo incondicional, comprensión he hicieron que todo esto sea posible, a quienes le debo la vida y todo lo que soy:

A mis padres que los adoro con todo mi ser Héctor y Nidia ustedes son los que hicieron que nunca desfalleciera, fuera perseverante y nunca me desplomara por las dificultades, digno ejemplo de constancia, esfuerzo, dedicación, respeto, perseverancia, progreso y que la frase que dice que el hombre es del tamaño de las dificultades que se nos presentan es cierta.

También se lo dedico a mi amigo y confidente mi hermano John, siempre constante, firme en su apoyo y consejos, al igual a mi cuñada Adriana y mi sobrino-ahijado Samuel que los quiero demasiado!!!

Y no por últimos menos importantes a mis primitos Jean Gabriel y Luis Miguel, mis pequeños que los he visto crecer y me han demostrado que con sus ocurrencias que mantener una buena actitud y humildad se logran lo que nos propongamos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente al Divino Niño!!! Mi socio en todo lo que hago y nunca me falla!!

A mis padres que sin ellos esto no fuese posible!!! Agradezco su apoyo y ejemplo gracias a ellos soy quien soy!!!

A mi hermano, mi cuñada y mi sobrino-ahijado que son parte fundamental en mi desarrollo como persona.

A mi tío Benjamín y mi Madrina Odilia, que siempre me han apoyado desde niño en mis actividades y al logro de mis metas.

A mi Tutora Académica Aurora Piña, más que un ejemplo a seguir de profesionalismo y dedicación, una muy buena amiga que me soporto en todo este proceso y colaboro para que mi meta se cumpliera.

A mi tutora Industrial Marianne Garrido mi Jefecita!!! Su apoyo, orientación y amistad es muy valiosa para mí ya que se portó a la altura de toda una profesional ayudándome a cumplir mi meta.

A la profesora y amiga Sasha, mi cotutora sentimental gracias por tu apoyo y consejos, gracias totales.

A todos los profesores del departamento de Minas que formaron parte de mi formación, Castillo, De Abreu, Spic, Márquez, Barboza, Silva, Pietro, Castillejo, Contreras, Azocar, Duque, Plata y Artigas.

A los profesores del Departamento de Geología y Geofísica formaron parte de mi desarrollo profesional.

A la Sra. Morella que siempre me colaboro ayudo y estuvo pendiente de mí.

A todos los miembros de la facultad de Ingeniería que contribuyeron en mi formación desde la básica hasta el ciclo profesional.

A los miembros del Consejo de Facultad que me dieron su apoyo en las peticiones que realice, permitiendo mi desarrollo académico.

A toda la comunidad estudiantil de la ingeniería en especial a mis compañeros de la escuela GMG y en especial a los del Departamento de Minas.

A los miembros de la Asociación de Estudiantes de Minas de la UCV.

Moya B., Freddy

VERIFICACIÓN DE LA OPCIÓN DE PRODUCCIÓN MÁS FAVORABLE A PARTIR DE DISEÑOS DE EXPLOTACIÓN A LARGO PLAZO DEL FRENTE 02, CANTERA CARAYACA UBICADA EN TACAGUA, DISTRITO CAPITAL.

Tutora Académica: Prof. Aurora Piña. Tutora Industrial: Ing. Marianne Garrido. Tesis Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Minas. Año 2015, p.145

Palabras Claves: Minas-diseño de explotación, Canteras-producción, Minería-producción, Cantera Carayaca-Tacagua (Distrito Capital)

RESUMEN.

El presente trabajo tiene como objetivo principal verificar la opción de producción más favorable a partir de diseños de explotación a largo plazo del Frente 02, Cantera Carayaca ubicada en Tacagua, Distrito Capital, considerando la cantidad de material aprovechable, concesión minera, geomorfología, parámetros de diseño técnicos y operativos para el desarrollo del método de explotación, bancos, vías y producción. Los modelos se han realizado empleando el método de cantera con bancos descendentes desde el nivel 770 al nivel 655. Los valores seleccionados de diseño son bancos de 10 m de altura, ancho de talud de 4 m, ángulo de cara de talud de 60° y ángulo de talud finales de 47° y 49°. Estos parámetros permiten el desarrollo de los modelos tanto en base al lindero y la geomorfología, siendo el diseño en base a la geomorfología natural la opción con una mayor producción superando en un 26% al otro modelo, aumentando el volumen en 442.071,9 m³, representando 1.211.277 t explotables en 3 años más. Ambos diseños se han realizado para beneficiar la producción requerida por la cantera, cumpliendo además con los requerimientos de estabilidad, seguridad y operatividad en el frente de trabajo.

ÍNDICE GENERAL.

	Pág.
Índice de tablas.	xi
Índice de figuras.	xiii
Índice de ecuaciones.	xv
Introducción.	xvi
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	xviii
II. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.	xviii
III. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION.	xix
IV. ALCANCE DEL TRABAJO.	xx
V. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.	xx
CAPITULO I. GENERALIDADES DEL SITIO DE INVESTIGACION.	1
1.1. CANTERA CARAYACA.	2
1.2. UBICACIÓN GENERAL Y ACCESO A LA CANTERA.	4
1.2.1. Coordenadas UTM del derecho minero.	5
1.2.2. Coordenadas UTM del área de afectación autorizada.	5
1.3. GEOLÓGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO.	6
1.3.1. Geología regional.	6
1.3.2. Geología local.	11
1.4. ESTUDIO GEOTÉCNICO Y ESTABILIDAD DE TALUDES DEL ÁREA DE EXPLOTACIÓN.	15
1.4.1. Resistencia de la roca presente en el Frente 02.	17
1.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-NATURALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.	18
1.5.1. Fisiografía.	18
1.5.2. Drenajes.	19
1.5.3. Clima.	19

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.	21
2.1. GEOMORFOLOGIA.	22
2.2. ESTIMACIÓN DE RESERVAS.	22
2.2.1. Reservas posibles, probables y probadas.	23
2.2.2. Método Clásico o geométrico.	23
2.2.3. Método de los perfiles.	24
2.3. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN.	25
2.3.1. Tipos de yacimientos explotables.	25
2.3.2. Generalidades sobre los métodos de explotación.	27
2.3.3. Plan de trabajo en un periodo de tiempo.	29
2.3.4. Criterios de diseño de minas a cielo abierto.	30
2.3.5. Estabilidad de taludes.	31
2.3.6. Altura de bancos.	32
2.3.7. Ancho operativo.	34
2.3.8. Angulo de Talud.	34
2.3.9. Bermas.	37
2.3.10. Pistas y rampas.	37
2.4. SISTEMAS Y MAQUINARIA DE EXPLOTACIÓN.	41
2.4.1. Clasificación de los sistemas mineros.	41
2.4.2. Operaciones básicas y clasificación de equipos.	41
2.5. TIPO DE ARRANQUE MATERIAL.	43
2.5.1. Arranque de roca ornamental.	43
2.5.2. Arranque de roca para agregados para construcción.	44
2.5.3. Voladuras a cielo abierto.	46
2.5.4. Voladuras en banco de pequeño diámetro.	47
2.5.5. Conceptos Empleados en el diseño de las cargas.	49
2.5.6. Criterios para el cálculo de las variables de voladura.	50
2.6. EQUIPOS UTILIZADOS EN MINERÍA.	52

2.6.1. Equipos de arranque.	52
2.6.2. Equipo de carga.	55
2.6.3. Equipos de acarreo.	57
2.6.4. Maquinaria auxiliar.	57
2.7. ASPECTOS AMBIENTALES Y SEGURIDAD.	58
2.7.1. Impacto Ambiental.	58
2.7.2. Seguridad.	64
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO Y DISEÑOS DE EXPLOTACIÓN: EN BASE AL LINDERO DE LA CONCESIÓN MINERA Y LA GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA DE UBICACIÓN DE LA CANTERA CARAYACA.	73
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	74
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	74
3.3. POBLACION Y MUESTRA.	74
3.4. TÉCNICAS Y MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	75
3.5. ANÁLISIS DE LOS DATOS E INTERPRETACIÓN.	76
3.6. DIAGRAMA DEL PROCESO DE DISEÑO	76
3.7. DISEÑOS DE EXPLOTACIÓN: EN BASE AL LINDERO DE LA CONCESIÓN MINERA Y LA GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA DE UBICACIÓN DE LA CANTERA CARAYACA.	77
3.7.1. Opciones de diseño de explotación en el Frente 02 de la Cantera Carayaca.	77
3.7.2. Material aprovechable en el Frente 02 de la Cantera Carayaca	79
3.8. DISEÑO GEOMÉTRICO DE EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA CARAYACA.	82
3.8.1. Método de explotación.	82
3.8.2. Diseño de banco.	83
3.8.3. Pistas y rampas.	88
3.9. OPERACION UNITARIA DE ARRANQUE DE MATERIAL.	90
3.9.1. Perforación.	90

3.9.2. Voladura.	92
3.10. OPERACIONES UNITARIAS DEL PROCESO DE CARGA Y ACARREO.	94
3.10.1. Equipos de carga.	94
3.10.2. Equipos de acarreo	97
3.11. DISEÑOS A CORTO, MEDIO Y LARGO PLAZO.	106
3.11.1. Diseños en base al lindero dela Concesión Minera.	106
3.11.2. Diseños en base a la geomorfología natural.	109
3.14. REFLEXION FINAL.	113
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	118
REFERENCIAS CONSULTADAS	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Mensura del lindero del Frente 02.	6
Tabla 2: Clase de Estabilidad del Frente 02 de la Cantera Carayaca.	16
Tabla 3: Valores registrados de la muestras del Frente 02 (IMME-UCV, 2009).	18
Tabla 4: Coordenadas UTM del lindero del Frente 02.	80
Tabla 5: Coordenadas UTM que limitan el perímetro del Frente 02, basado en las características geomorfología natural.	82
Tabla 6: Valores del ancho mínimo operativo.	87
Tabla 7: Valores de la configuración para pista de 1 o 2 vías.	89
Tabla 8: Tabla de tiempos de ciclos de la perforación.	90
Tabla 9: Valores para el patrón de voladura.	92
Tabla 10: Parámetros de carga de voladura	93
Tabla 11: Rendimiento de los cargadores frontales.	95
Tabla 12: Rendimiento de las excavadoras.	96
Tabla 13: Tabla de tiempos de ciclos de carga de los equipos.	96
Tabla 14: Tabla de cantidad de pases de los equipos de carga.	96
Tabla 15: Tabla de velocidad de los equipos de carga.	97
Tabla 16: Ciclos a la Planta 01. Diseño en base al lindero a corto plazo (3 Años).	98
Tabla 17: Ciclos a la Planta 02. Diseño en base al lindero a corto plazo (3 Años).	99
Tabla 18: Ciclos a la Planta 01. Diseño en base al lindero a mediano plazo (6 Años).	100
Tabla 19: Ciclos a la Planta 02. Diseño en base al lindero a mediano plazo (6 Años).	100
Tabla 20: Ciclos a la Planta 01. Diseño en base al lindero a largo plazo (10 Años).	101

Tabla 21: Ciclos a la Planta 01. Diseño en base la geomorfología a corto plazo (3 Años).	102
Tabla 22: Ciclos a la Planta 02. Diseño en base la geomorfología a corto plazo (3 Años).	102
Tabla 23: Ciclos a la Planta 01. Diseño en base la geomorfología a mediano plazo (6 Años).	103
Tabla 24: Ciclos a la Planta 02. Diseño en base la geomorfología a mediano plazo (6 Años).	103
Tabla 25: Ciclos a la Planta 01. Diseño en base la geomorfología a largo plazo (13 Años).	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Equipo de Perforación para arranque de material.	3
Figura 2: Equipos de carga y acarreo.	3
Figura 3: Planta 01 y Planta 02, de la Cantera Carayaca.	4
Figura 4: Ubicación geográfica de la Cantera Carayaca Tacagua.	5
Figura 5: Complejo de la Costa.	8
Figura 6: Fase Tacagua.	9
Figura 7: Secuencia litológica en el Frente 02.	12
Figuras 8-A y 8-B: Esquistos granatíferos-grafitosos.	13
Figuras 9-A y 9-B: Mármol gris masivo y Cuarzitas bandeadas.	13
Figura 10. Ubicación de la falla de Tacagua.	14
Figura 11A. Ángulos de Cara de Banco e Inter rampas.	35
Figura 11B. Ángulos de Talud Geomecánico y Final.	35
Figura 12A. Parámetros para el diseño de Pistas de una vía.	38
Figura 12B. Parámetros para el diseño de Pistas de doble vía.	38
Figura 13: Figura 13. Operaciones básicas.	42
Figura 14: Sistemas de penetración de la roca.	45
Figura 15: Formulas Konya, carga de explosivo en barreno.	51
Figura 16: Figura 16. Equipo de perforación por percusión.	53
Figura 17. Equipo de perforación rotativa.	54
Figura 18: El hilo diamantado.	55
Figura 19. Orden jerárquico del sistema jurídico venezolano.	60
Figura 20. Reconocimiento de los parámetros de riesgo laboral.	67
Figura 21. Señalización de uso de casco de seguridad.	70
Figura 22. Señalización de uso de lentes de seguridad.	71
Figura 23. Señalización de uso de guantes de seguridad.	71
Figura 24. Señalización de uso de mascarilla.	72

Figura 25. Señalización de uso de protectores auditivos.	72
Figura 26. Diagrama del proceso de diseño.	77
Figura 27: Mapa Topográfico con los 20 Perfiles delimitados por el lindero de la Concesión Minera.	80
Figura 28: Mapa Topográfico con los 20 Perfiles delimitados por la geomorfología natural del Frente 02 de la Cantera Carayaca.	81
Figura 29: Ángulos para la zona Oeste del Frente 02.	84
Figura 30: Ángulos para la zona Noreste del Frente 02.	85
Figura 31: Ancho mínimo de operación.	87
Figura 32: Diseñó de vía simple y de doble vía para la Cantera Carayaca.	89
Figura 33: Equipo de perforación Gardner Denver.	91
Figura 34: Carga de barreno. perforación operativa vertical y perforaciones finales 30°.	93
Figura 35: Equipos de carga: Cargadores Frontales.	95
Figura 36: Equipos de carga: Excavadoras.	95
Figura 37: Diseño a corto plazo basado en el lindero de la Concesión Minera.	107
Figura 38: Diseño a mediano plazo basado en el lindero de la Concesión Minera.	108
Figura 39: Diseño a largo plazo basado en el lindero de la Concesión Minera.	109
Figura 30: Diseño a corto plazo basado en la geomorfología natural.	110
Figura 41: Diseño a mediano plazo basado en la geomorfología natural.	111
Figura 42: Diseño a Largo plazo basado en la Geomorfología natural.	112

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Corrección de área media entre perfiles.	24
Ecuación 2: Formula de prismoidal.	24
Ecuación 3: Pesos volumétricos.	24
Ecuación 4: Anchura de pistas.	39
Ecuación 5: Ancho de pistas en curvas.	39
Ecuación 6: Sobreelevación del lado exterior de la curva.	40
Ecuación 7: Relación de cargas de explosivos cilíndricas.	47
Ecuación 8: Formula de Burden según teorías del Dr. Ash.	48
Ecuación 9: Formula de Sobreperforación según Konya.	48
Ecuación 10: Fórmula de Longitud de Perforación según Konya.	49

INTRODUCCIÓN

La Cantera Carayaca, perteneciente a la empresa Varguense de Canteras y Minas C.A., ha venido desarrollando la extracción de agregado para la construcción como: arrocillo, polvo piedra, piedra picada y gavión, para comercializarlo a empresas privadas y públicas del Distrito Capital y Estados Miranda y Vargas.

La demanda de dichos productos se ha visto incrementada por la política nacional del desarrollo de infraestructura social, como es la Gran Misión Vivienda Venezuela. Con el fin de satisfacer esta demanda, es necesario contar con un diseño adecuado de explotación en función de la producción del material a explotar, por ende es importante ver las opciones acordes para mejorar este proceso minero.

Considerando la concesión minera, topografía, geomorfología y el método de extracción del mineral, permite verificar por lo menos dos modelos de explotación que aporten información necesaria, para considerar la mejor opción de extracción en la Cantera Carayaca, satisfaciendo la demanda del material, al establecer cuál es el diseño más favorable para la zona en función de la producción.

Este trabajo se estructura de la siguiente manera: Capítulo I en el cual se encuentra el sistema operativo y las características físicas y naturales de Cantera Carayaca, en este se menciona la ubicación, descripción geológica local y regional de la zona, así como lo concerniente a la geomecánica, fisiografía, drenajes, clima, precipitación. Capítulo II se describirá los conocimientos teóricos para la descripción del área a explotar, estimación de reservas, método de explotación, sistemas y maquinaria de explotación, perforación, voladura, equipos utilizados en minería para el diseño de explotación a cielo abierto. En el Capítulo III se presenta el Marco Metodológico, indicando la metodología utilizada para cumplir con los objetivos planteados, los diseños de explotación en base a las dos opciones consideradas para tres fases de extracción a corto (3 años), mediano (6 años) y a largo plazo (*pit* final), así como

también el material aprovechable, las características técnicas para el desarrollo de los bancos, vías de acceso y ciclos de los equipos para las operaciones unitarias en función de cumplir con los requerimientos de la cantera, además de analizar los diseños de explotación en función del lindero y la geomorfología natural del frente, basado en los parámetros geométricos, técnicos y desarrollo de las operaciones unitarias, examina los diseños obtenidos en las tres fases de extracción para finalmente verificara la mejor opción de producción para el Frente 02 de la Cantera Carayaca.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cantera Carayaca perteneciente a la Empresa Varguense de Canteras y Minas (VARCAM C.A) realiza la extracción de agregados para la construcción, para ello cuenta con dos frentes de explotación denominados Frente 02 y Frente 04, actualmente solo se realiza la explotación del Frente 02. Debido a la demanda de este material, para un mejor aprovechamiento y producción del mismo, se requiere un diseño de explotación más acorde a las condiciones del Frente 02. Sin embargo, la cantera está limitada por una poligonal según los linderos dados por la concesión minera la cual no se ajusta a la geografía del área del yacimiento. Esta situación puede ocasionar restricciones o dificultades en el diseño de los taludes y los avances de extracción mineral.

Para verificar la producción más favorable del material se plantea, la comparación de por lo menos dos diseños de explotación; los cuales están basados en criterios del actual lindero y geomorfología. Pudiendo contrastar los diseños de explotación propuestos y estudiar las consideraciones pertinentes, para mejorar la producción a largo plazo de la demanda del material.

II. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.

Objetivo general.

Verificar la opción de producción más favorable a partir de Diseños de explotación a Largo Plazo del Frente 02, Cantera Carayaca ubicada en Tacagua, Distrito Capital.

Objetivos específicos

- Realizar los cálculos de material aprovechable a través del método de los perfiles con la topografía suministrada por la cantera para conocer su vida útil.

- Describir las características y operatividad de los equipos para las operaciones unitarias: arranque, carga y acarreo para cumplir con la producción requerida.
- Determinar los avances a largo plazo de explotación aplicable a las características del yacimiento en función del lindero y la geomorfología natural del Frente 02 de la Cantera Carayaca.
- Verificar la producción más beneficiosa a partir de los diseños de explotación minera elaborados para el Frente 02 a largo plazo.

III. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION.

Este trabajo busca obtener mejoras en la producción del Frente 02 de la Cantera Carayaca. En esa búsqueda se infiere que el diseño basado en la geomorfología del lugar, es el más adecuado a los fines que se persiguen.

La pertinencia sobre el desarrollo de un diseño de explotación adecuado, viene dado por la demanda de la producción actual en el sector de la construcción, que se ha incrementada por la Política Nacional en el Desarrollo de Infraestructura Social para la población venezolana.

Esta investigación se realiza en virtud de la mejora de la producción, que permita el aprovechamiento de la mayor cantidad de material, por lo cual es requerido la comparación de escenarios, que pueden dar dos o más diseños para dicha explotación. Dichos diseños propuestos a comparar son: uno en base al lindero otorgado por la concesión minera, que actualmente origina la existencia de taludes de altura y ángulos inestables, además de dificultar la extracción por carecer de suficiente espacio operativo. El otro diseño es en base a la geomorfología del yacimiento que permitiría un desarrollo con mejor estabilidad de altura y ángulos de taludes, propiciando un mejor aprovechamiento del recurso mineral con el menor impacto al área del yacimiento.

El principal beneficiario de este estudio es la Gerencia de Planificación y Minería de la Cantera Carayaca, así como sus trabajadores en las que se verán favorecidas sus condiciones de trabajo y seguridad laboral; así también la población beneficiada por la Gran Misión Vivienda Venezuela, ya que la producción de este material es de importancia estratégica para el desarrollo de la construcción en Venezuela.

IV. ALCANCE DEL TRABAJO.

La aplicación del diseño más favorable para la producción de la Cantera Carayaca según los modelos propuestos, será mediante la comparación de la producción de los mismos, las condiciones necesarias para llevar a cabo y la proyección prevista por la Gerencia de Planificación y Minería de la cantera. Tendrán un rango de aplicación a Largo Plazo de 10 años, con los avances a 3, 6 y *pit* final para la extracción del mineral propuestos en cada diseño.

El trabajo se realizará considerando la producción requerida; razón por la cual, los diseños se enfocarán en tres avances como una parte de un diseño mayor a Largo Plazo. Esto hace que el proyecto sea coherente y favorezca el desarrollo y diseño de la cantera a los lapsos de corto, mediano y largo plazo, establecidos por la cantera.

Es importante destacar que el diseño no considera los aspectos financieros. Esto da una aplicabilidad más flexible de presentarse inconvenientes en la explotación.

V. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

A continuación se reseñara brevemente algunos antecedentes de la presente investigación. Estos antecedentes integran información importante utilizada en la realización del proyecto.

V.1. Título: Diseño de un plan de explotación Yacimiento de Caliza, Cantera la Gamarra Magdalena, Estado Aragua. Autor: De Abreu G. Juan C. (2002).

Este tema de tesis se enfocó en el diseño en un yacimiento de caliza ubicado en El Zamuro, Cerro Los Perros de Agua, Magdalena estado Aragua. El recurso minero era limitado por la evaluación mediante el método de secciones verticales; las condiciones generales del yacimiento limitaban el alcance de la explotación. Se logró el diseño para una cantidad alrededor de 479.840 m^3 , en un periodo de cuatro años. El diseño final de explotación consta de bancos de 10 m con un ángulo de cara de talud de 72° y bermas de 4 m. Estos parámetros originan un talud final máximo de 55° geomecánicamente estable, los equipos necesarios para realizar las operaciones mineras básicas son: perforadora, cargador, camiones, equipos de apoyo: tractores, motoniveladora y camión cisterna.

V.2. Título: Selección del Diseño óptimo en función de parámetros operativos empleando herramientas informáticas para una Cantera de Metacaliza de uso industrial. Autor: Gómez De Faria, Berardo (2013)

El autor determina el diseño óptimo de producción a Corto Plazo y el *pit* de una cantera de metacaliza empleando herramientas informáticas y considerando parámetros técnicos y operativos para el mejoramiento del rendimiento, producción y seguridad de las operaciones. El diseño que aplico el método de fosa abierta con bancos descendentes. Los elementos de diseño óptimos seleccionados para la fosa final son bancos de 10 m de altura, ancho de bermas de 7,5 m, ángulo de talud general de 45° . La planificación y diseño de la cantera se realizó para un lapso de tres años en base de la producción.

V.3. Título: Diseño de la secuencia de explotación de los Yacimientos que conforman el Grupo Redondo del Distrito Ferrífero piar para un periodo de largo plazo, C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A., Estado Bolívar. Autor: Bolívar H., Enyerberth J. (2014).

Este desarrolla un diseño para la empresa C.V.G Ferrominera Orinoco CA., para secuencias de explotación en los yacimientos que conforman el Grupo Redondo del Distrito Ferrífero Piar para un periodo de Largo Plazo (10 años). El Grupo está conformado por tres yacimientos: Cerro Redondo, Cerro Ricardo y Cerro La Estrella, utilizando el software minero Minesight® para elaborar el diseño de las fosas de excavación y para obtener los reportes de reservas. Se estableció la secuencia de explotación adecuada para cada uno, como las metas de producción.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL SITIO DE INVESTIGACIÓN.

En este capítulo se encuentra la información físico natural de la de la Cantera Carayaca, la cual abarca geología regional, local, estructural, geomecánica, geográfica, climática y sistema de operación minera, la información en los siguientes apartes fue proporcionada por la propia Cantera de su Estudio de Impacto Ambiental (2012) y Plan de Explotación (2014).

1.1. CANTERA CARAYACA.

La Cantera Carayaca perteneciente a la Empresa Varguense de Minas y Canteras (VARCAM C.A.), se encuentran en la localidad de Tacagua específicamente en la Hacienda El Topo y posee dos frentes de trabajo denominados como:

Frente 02 (también llamados Frente A y Frente B) operativo, y Frente 04 (actualmente inoperativo).

El Frente 02 realiza la extracción de material empleado como agregados para la construcción, enfocado principalmente para el desarrollo de las Infraestructuras de La Gran Misión Vivienda Venezuela y así como, al suministro de este producto a otras empresas de la región Capital, Miranda y Vargas. Adicionalmente, de la explotación la Cantera Carayaca tiene proyectos de ampliar sus operaciones a la extracción de roca con fines ornamentales por la presencia de mármol en este frente de explotación.

La Cantera Carayaca cuenta con un sistema de desarrollo minero de extracción de mineral mediante la perforación y voladura, carga y acarreo a las plantas de reducción de tamaño denominadas Planta 01 y Planta 02.

Las labores de arranque indirectos de la roca se realizarán por perforación (Figura 1) y voladura, esto debido a la dureza que presenta la roca, lo cual imposibilita ser arrancada por medio de métodos mecánicos.



Figura 1. Equipo de perforación para arranque de material. Fuente: Elaboración Propia (2015).

Los equipos a utilizar para la carga y acarreo serán una combinación de cargadores (frontales y retroexcavadoras) sobre cauchos y orugas y camiones de carga pesada. (Figura 2)



Figura 2. Equipos de carga y acarreo. Fuente: Cantera Carayaca (2014)

La cantera cuenta con dos plantas de beneficio de mineral (Figura 3), las cuales son encargadas de la reducción de tamaño, clasificación y distribución por productos del todo uno con que se alimenta. Proveniente del Frente 2 pero con distancias de acarreo diferentes siendo la de la Planta 1 la de mayor distancia.

La Planta 1 consta de cinco equipos principales en un circuito cerrado, los cuales son: una tolva de alimentación, un triturador primario (mandíbula), un triturador secundario (cono) y dos cribas, además de su sistema de cintas transportadoras.

La Planta 2 consta de siete equipos principales en un circuito abierto, los cuales son: un alimentador vibrante con cernido, un triturador primario (mandíbula), tres trituradora secundarias (dos impactores y un cono) y 2 cribas, además de su sistema de cintas transportadoras.



Figura 3. Planta 01 y Planta 02, de la Cantera Carayaca. Fuente: Elaboración Propia (2015).

El material en las plantas, pasa por el sistema cerrado de clasificación y trituración da como productos finales para la Planta 01 y Planta 02, cuatro tipos de material que son inicialmente el ripio o finos de tierra, seguido de la clasificación a los tamaños comerciales que son piedra N° 1, arrocillo y polvo piedra. Además de material tamaño gavión y coraza para malecones bajo pedido especiales. El volumen total de material requerido anualmente es de 127.200 m³.

La Cantera Carayaca aparte de le extracción de agregado para la construcción, contempla la opción de incursionar en la extracción de roca ornamental por la gran presencia de mármol en el área, actualmente realizan los estudios necesarios para su desarrollo.

1.2. UBICACIÓN GENERAL Y ACCESO A LA CANTERA.

La Cantera Carayaca, está ubicada en la localidad de la Hacienda Boca de Topo, Jurisdicción del Municipio Libertador, Distrito Capital (Figura 4), cuyo acceso es desde el Km. 11 de la autopista Caracas – La Guaira. En la vía de Caracas hacia La Guaira, el acceso se logra tomando a la derecha en el sector El Limón, luego de la

pasarela pasando por un túnel debajo de la autopista y atravesando la quebrada Tacagua o utilizando el retorno vía el Limón, llegando a la parada El Araguaney donde se hace un recorrido de unos 2 km de carretera para llegar al portón de entrada a las instalaciones de la Cantera.

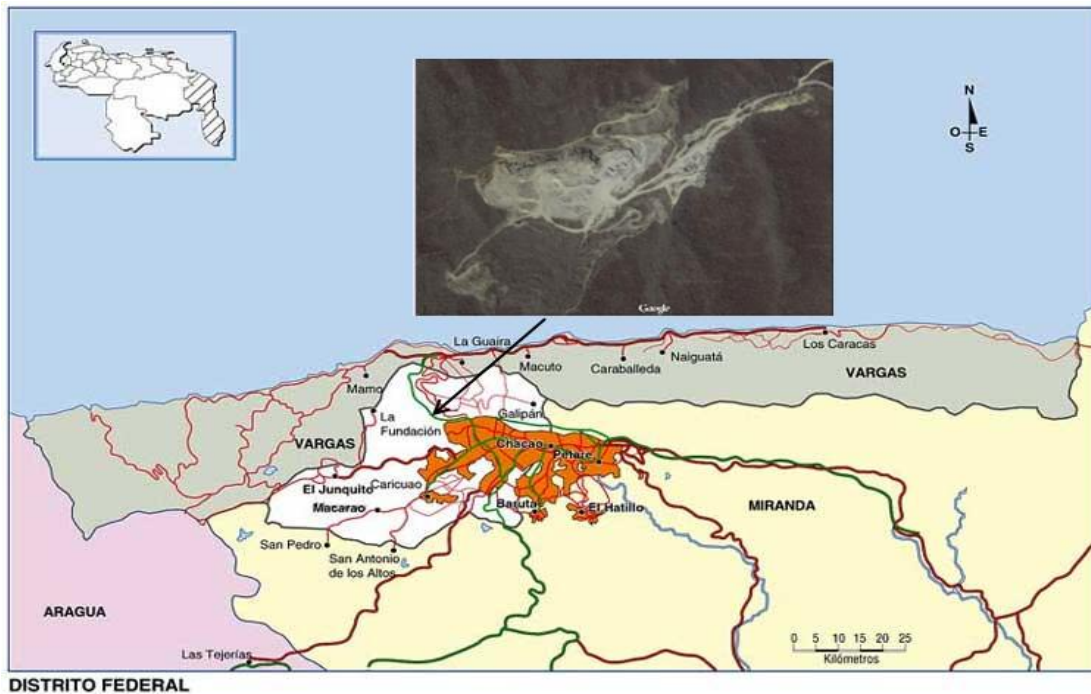


Figura 4. Ubicación geográfica de la Cantera Carayaca Tacagua. Fuente: Cantera Carayaca (2014).

1.2.1. Coordenadas UTM del derecho minero.

La extracción del material rocoso se realiza en la actualidad sobre un área conocida como Frente 02 con una dimensión aproximada 93.000 m^2 . El área total del fondo Boca de Topo es de unas 202,00 hectáreas.

1.2.2. Coordenadas UTM del área de afectación autorizada.

El área actualmente autorizada para la extracción es de 93 hectáreas para el Frente 02 dentro del Perímetro de coordenadas UTM, Sistema REGVEN Huso 19, en una poligonal de seis puntos detallados en la Tabla 1.

Tabla 1. Mensura del Lindero del Frente 02.

Índice	Norte	Este	Longitud	Azimut
CTG-1	1.164.048,13	718.697,02	309,73	269,59
CTG-2	1.164.048,06	718.387,29	268,12	357,31
CTG-3	1.164.315,92	718.375,66	207,18	92,51
CTG-4	1.164.305,60	718.582,58	166,08	116,21
CTG-5	1.164.231,86	718.731,40	113,26	94,02
CTG-6	1.164.223,87	718.844,38	229,35	219,59

Fuente: Cantera Carayaca (2014).

1.3. GEOLÓGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

1.3.1. Geología regional.

La geología regional fue consultada del Estudio Geológico del Abra Topográfico de Tacagua y Geotecnia Detallada de los Km 0 al 4 de la Autopista Caracas-La Guaira y del Código Geológico de Venezuela. Léxico Estratigráfico. (<http://www.pdv.com/lexico/>) fecha de consulta 26/06/2015.

Los estudios relacionados sobre la geología regional como lo referencia Urbani (2002), realizados en la zona muestra una geología conformada por franjas metasedimentarias con bajo grado de metamorfismo (esquistos verdes) representadas por metacalizas, gneis y esquistos con diversa mineralogía (cuarzo, muscovita, anfíbol, feldespato, biotita, granate, pirita entre otras). Se evidencia la presencia de los esquistos de Tacagua representadas en la región por gneis o esquistos (de grano grueso) cuarzo-micáceos-anfíbol y esquistos anfibolíticos-cuarzo-micáceos-grafitosos, en gran proporción de la zona entre Caracas y La Guaira está constituida por mármoles de las Calizas de Antímano con un gran fracturamiento.

Esta geología comprende el Complejo La Costa (Mesozoico) que abarca el Distrito Capital y los estados Yaracuy, Carabobo, Aragua y Miranda (Figura 5), referenciada originalmente por Ostos, Navarro y Yoris, 1987, p. 71.

Regionalmente Ostos (1987), describe la Unidad Litodémica de corrimiento La Costa agrupando en ella a las rocas correspondientes a las fases Nirgua, Tacagua y Antímamo. Seguidamente Navarro (1988) mantienen el mismo concepto pero denominan como Complejo La Costa a este mismo conjunto de rocas. Urbani y Ostos (1989), Urbani (1989a, 1989b) presentaron la cartografía geológica de este Complejo desde Morón, estado Carabobo, hasta Cabo Codera, estado Miranda. El Complejo La Costa es el nombre de unidad Litodémica propuesto para las rocas de la Franja Tectónica Costera - Margarita previamente descrita por Stephan (1980).

Litológicamente está constituido por una mezcla compleja de esquistos de variada mineralogía, mármoles, anfibolitas, anfibolitas granatíferas, anfibolitas glaucofánicas, eclogitas, rocas metavolcánicas, tipos de rocas constituyentes de las fases Antímamo (esquisto cuarzo -micáceos, anfibolita y mármol), Tacagua (esquisto grafitos y rocas ricas en epidoto) y Nirgua (esquisto de mineralogía diversa y anfibolita) que conforman este Complejo. Para mayores detalles véanse las descripciones de estas fases a continuación:

MAPA GEOLOGICO DEL MACIZO DE EL AVILA, D.F.

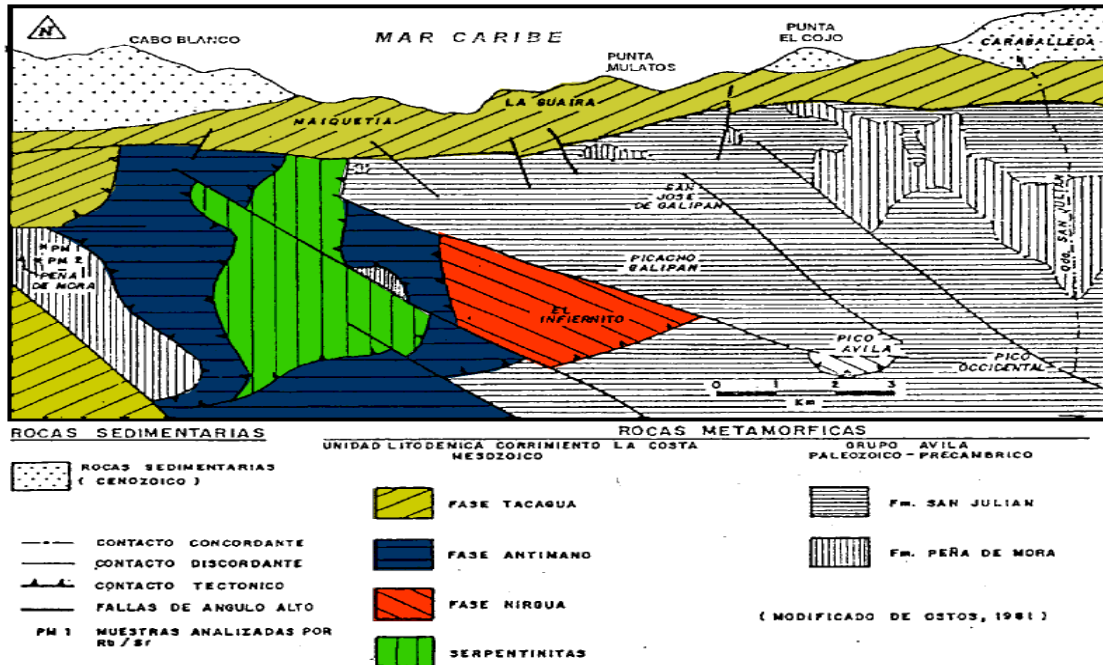


Figura 5. Complejo de La Costa. Fuente: Código Geológico de Venezuela.
<http://www.pdv.com/lexico/>

Según la Fase Tacagua (Jurásico – Cretácico) comprendida en el Distrito Capital, Referenciada originalmente por Dengo, 1951. (Figura 6). Designando una secuencia alternante de esquistos calcáreos grafitosos y esquistos epidóticos, expuestos en el valle de la quebrada de Tacagua, considerándola como parte de su Grupo Caracas. El estudio de Smith (1952) indica que algunas rocas de su Formación Paracotos son similares a los de la Formación Tacagua. Feo-Codecido (1962) y Wehrmann (1972) la incluye en sus mapas de la región central de La Cordillera de la Costa. Méndez y Navarro (1987) estudian geoquímicamente sus rocas metavolcánicas.

El estudio de campo de Navarro (1988) redefinen esta unidad como Fase Tacagua de su Complejo La Costa, separándolo por consiguiente del Grupo Caracas. Posteriormente Urbani y Ostos (1989) resumen la cartografía geológica de la Cordillera de la Costa desde Puerto Cruz, Distrito Capital, hasta Cabo Codera, estado

Miranda, mostrando la franja de afloramientos de esta Fase y Giunta (1996) presentan interpretaciones sobre el origen de las rocas volcánicas basadas en información geoquímica.

Litológicamente la localidad y en los afloramientos de la zona costera del litoral central, se encuentra una asociación de esquistos albitico calcítico cuarzo micáceo grafitoso, de color gris oscuro, semejantes a aquellos descritos como típicos de la Formación Las Mercedes, intercalados concordantemente con esquistos de color verde claro, constituido por cuarzo, albita, minerales del grupo del epidoto, así como clorita y muscovita, también se ha descrito que contienen cantidades menores o trazas de hematita, calcita, pirita, anfíbol y granate; adicionalmente se han reportado cuerpos de anfibolita epidótica (resumen en González de Juana *et al.*, 1980, p. 318). Esta fase posee una característica distintiva sobre su alternancia de rocas esquistosas grises oscuras y verdes claro.

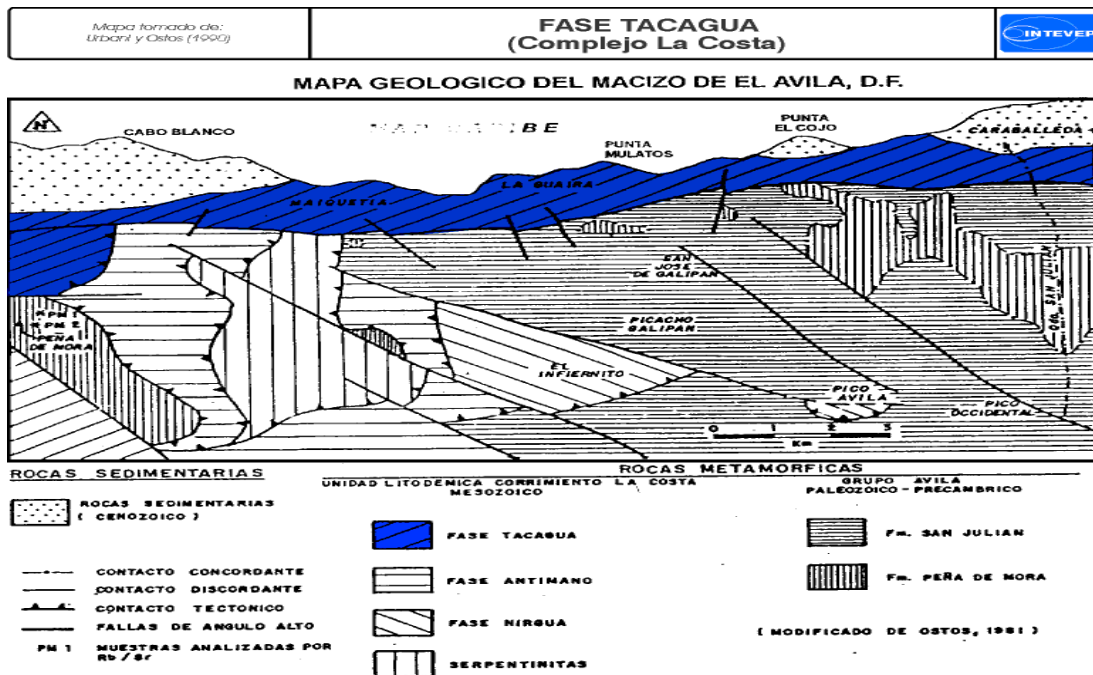


Figura 6. Fase Tacagua. Fuente: Código Geológico de Venezuela. <http://www.pdv.com/lexico/>.

Respecto a la Fase Antímamo (Cretácico) sobre el Distrito Federal y estados Miranda, Aragua y Carabobo, referenciada originalmente por Dengo, 1951, p. 63-64.

La investigación de Dengo (1949-1947) menciona por primera vez a la Formación Antímamo, designa la localidad tipo e identificó las calizas de la fase Zenda de la Formación Las Brisas. Aguerrevere y Zuloaga (1937) y Smith Smith (1952) la consideraron como parte de la Formación Las Mercedes. Tiempo después Dengo (1951) la eleva a rango formacional y MacLachlan (1960), Feo-Codecido (1962), Wehrmann (1972), González (1972) la extienden geográficamente a los estados Miranda, Aragua y Carabobo. González de Juana (1980, p. 314) interpreto esta unidad como representación del horizonte tectónico y no una unidad litoestratigráfica. Ostos (1987), Navarro (1988) la redefinen como la Fase Antímamo, formada por su unidad Litodémica de corrimiento que denominan como Complejo La Costa, adicionalmente a las fases Tacagua y Nirgua. Para Urbani y Ostos (1989) y Urbani (1989) utilizan este nombre en los mapas geológicos de la zona de Puerto Cruz a Macuto, Distrito Federal, y El Palito-Morón-Valencia, estado Carabobo.

La litológica descrita por Dengo (1950-1951) menciona la presencia de mármol masivo de grano medio, color gris claro, con cristales de pirita, alternando con capas de esquistos cuarzo micáceos, y asociadas con cuerpos concordantes de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de "*boudinage*". El mármol está formado de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo detrítico, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (2%). Las anfibolitas glaucofánicas de esta formación y su análisis químico indica que los mármoles son rocas estructuralmente competentes en relación a los esquistos que las rodean, pero incompetentes en relación con las rocas anfibólicas, mostrando pliegues de flujo alrededor de ellas y resultando así la estructura de "*boudinage*".

1.3.2. GEOLOGÍA LOCAL.

La geología local del Frente 02, fue suministrada por la Cantera Carayaca de los estudios realizados en el área plasmada en su plan de explotación 2014.

(a) Marco geológico local.

Los estudios realizados por la Cantera Carayaca evidencian un marco geológico en el área de la cantera del Frente 02 concordante con la descripción del Complejo de La Costa, Fases Tacagua y Antímano.

(b) Secuencia y descripción litológica.

La secuencia litológica es concordante y transicional, en el Frente 02 desde la base al tope (Sur a Norte), son principalmente rocas metamórficas, conformadas por: esquistos granatífero-grafitosos, intercalaciones de esquistos cuarcíticos-grafitosos-anfibolíticos, esquistos cuarcíticos-calcáreos-grafitosos, mármol gris oscuro compacto y bandeado, cuarcita bandeada color crema, cuarcita gris oscura calcárea y al tope cuarcita color crema con niveles delgados intercalados de esquistos grafitosos (Figura 7). El rumbo general es E-W y el buzamiento varía de los 35 a los 65 grados al Norte.



Figura 7. Secuencia litológica en el Frente 02. Fuente: Cantera Carayaca (2014).

El esquistos granatífero-grafítico se localiza en la base de la secuencia (Sur) es de color gris oscuro, laminado y muy fracturado. El mármol, en el Frente 02, se presenta en forma lenticular acunándose hacia el Oeste, tiene su máximo espesor hacia el centro del frente de explotación donde aflora en forma masiva y compacta con un espesor de unos 50 metros, algo bandeado con vetas delgadas de calcita. La cuarcita supra yace al mármol y se observa también muy compacta, bandeada hacia el contacto con el mármol y se torna gris hacia el tope donde se hace calcáreo y luego se intercala con bandas delgadas de esquistos grafitosos. En total la secuencia expuesta en el Frente 02, mide unos 230 metros de espesor (Figuras 8-A, 8-B, 9-A y 9-B).



Figuras 8-A y 8-B. Esquistos granatíferos-grafíticos. Fuente: Cantera Carayaca (2014).



Figuras 9-A y 9-B. Mármol gris masivo y Cuarcitas bandeadas. Fuente: Cantera Carayaca (2014).

(C) Definición estructurales del yacimiento, perfiles y modelo geológico.

Estructuralmente, el yacimiento se encuentra muy afectado por el fuerte tectonismo regional que ha caracterizado a la región Norte de Venezuela durante su evolución geológica para conformar la Cordillera de la Costa como parte de las distintas “fajas tectónicas” de un total de ocho (Bell, 1968) que conforman el Macizo Central de la Cordillera del Caribe en su parte septentrional.

Como consecuencia de este intenso tectonismo de yuxtaposición de fajas tectónicas y el desplazamiento en dirección este de la Placa del Caribe, con respecto a la Placa de la América del Sur, el área de estudio está afectada por grandes fallas geológicas siendo la más importante la Falla de Tacagua, la cual es una falla dextral-normal, de dirección NO-SE, lo cual se evidencia en las pequeñas fallas de arrastre medidas en

los frentes de explotación de la cantera debido a su proximidad a esta gran falla geológica de Tacagua (Figura 10).

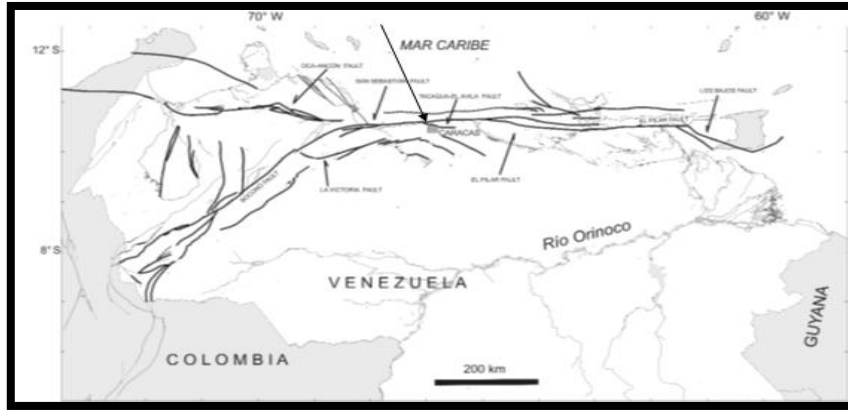


Figura 10. Ubicación de la falla de Tacagua. Fuente: Cantera Carayaca (2014).

Las fallas medidas en el Frente 02 son fallas dextrales a normales con desarrollo de estrías que indican claramente el movimiento relativo de los bloques. El rumbo y buzamiento general de las fallas locales es de: Rb: N 80W y Bz: 40 NE.

Esto trae como consecuencia que la secuencia estratigráfica del área de estudio se encuentre intensamente fracturada y afectada estructuralmente, especialmente los esquistos granatíferos-grafitosos y esquistos cuarzo-calcareos al Sur de la secuencia, los cuales se presentan laminados como resultado de los procesos mineros de voladuras, se fracturan en dimensiones relativamente pequeñas. Por el contrario, el mármol y las cuarcitas localizados al tope de la secuencia (Norte), son más competentes y son propensos a generar bloques grandes y macizos con el patrón de voladura.

En el Frente 02, las familias de diaclasas son abundantes debido a los intensos efectos tectónicos que ha sufrido la región y debido también a las características físicas de las rocas, que son muy compactas por su composición mineralógica eminentemente cuarzosas y/o calcáreas, propensas a quebrarse o romperse en fragmentos grandes o bloques en vez de plegarse, como sería el caso de los

esquistos grafitosos. Las diaclasas conforman sistemas paralelos en diferentes direcciones e inclinaciones. Las más recientes son abiertas, formando grietas y las más antiguas están generalmente rellenas de calcita cristalizada y en algunos casos forman cavernas producto de disolución por el agua que se infiltra de la superficie, cuando se trata de las rocas calcáreas. Se presenta un sistema paralelo al Rb y Bz de las capas donde observa deslizamientos locales con desarrollo de estrías. La tendencia general de dirección e inclinación de las diaclasas conjugadas son: Rb: N 10 E - Bz: 76 SE; Rb: EW - Bz: 35S; Rb: N 80 W - Bz: 36 NE y Rb N 30 W - Bz: 75SW

En todo caso, tanto las estructuras geológicas como las fallas y diaclasas presentes en la secuencia geológica, deben ser consideradas conjuntamente con las características físicas y mineralógicas de las rocas, para el desarrollo de las futuras obras de infraestructura.

1.4. ESTUDIO GEOTÉCNICO Y ESTABILIDAD DE TALUDES DEL ÁREA DE EXPLOTACIÓN.

De acuerdo al estudio geotécnico realizado por la Cantera Carayaca, mediante los cálculos con el método del talud infinito, ajustado a las condiciones en el Frente 02, que presenta una falla paralela a la superficie del talud a una profundidad somera y donde su longitud es más larga comparada con su espesor, se puede emplear en forma precisa el análisis de este método determinando el factor de seguridad del talud. De acuerdo al análisis, se recomendó emplear un factor de seguridad mínimo, en el yacimiento de roca caliza metamórfica, mármoles y esquistos anfibolíticos, estableciendo un factor de seguridad de (1:0,3 a 1:0,8).

La actividad minera en la Cantera Carayaca, en sus 27 años de explotación, ha estado condicionada a las normativas vigentes, con respecto a las terrazas o bermas de taludes con altura ($H > 5$ m), ha implementado construir las bermas intermedias o finales con un ancho ($A \geq H/3$) y su profundidad y longitud de los taludes cumpliendo

con esta la resolución DMC-016-2010 de fecha de 08 de marzo de 2010, publicada en Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.382 del 09 de marzo de 2010, las alturas acordadas están comprendidas entre 10 y 14 metros en el Frente 02.

Para la Cantera Carayaca en lo previsto en su desarrollo para la adecuación de la cantera, estableció la importancia de la estabilidad de excavación, partiendo de la clasificación del Índice de Calidad RMR (*Rock Mass Rating*), denominado clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), dividiendo el macizo rocoso aflorante en tramos con características geológicas uniformes observadas en campo, considerando datos y medidas relativos a las propiedades y características de la matriz de la roca y las discontinuidades.

Los afloramientos de paquetes de metacaliza, están definidos por estratos más o menos uniformes de roca tipo caliza metamorizadas (calizas esquistosas con intercalaciones de esquistos anfibolíticos foliados y calizas metamorizadas) de acuerdo a esta litología, el parámetro de clasificación se ubicó en 67 (Clase II, Calidad: buena, puntuación: 80-61) y su valor de cohesión se encuentra en 3-4 kg/cm², con un ángulo de rozamiento entre 25° a 35° (Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR). Con dicha información se evaluó el talud resultante y determino el índice SMR (Slope Mass Rating), ajustado a las discontinuidades (F1=0,70; F2=0,70; F3=-6) según la clasificación geomecánica de taludes SMR con el factor de ajuste por el método de excavación (F4=0), para minería a cielo abierto. Los valores se muestran en la tabla 3.

Tabla 2. Clase de estabilidad del Frente 02 de la Cantera Carayaca.

Clase de estabilidad			
SMR: 64%	SMR: (61-80)	Rotura: algunos bloques	Roca parcialmente estable
Clase II	Descripción: Buena	∅: 25° - 35°	Tratamiento: ocasional

Fuente: Cantera Carayaca (2012).

1.4.1. Resistencia de la roca presente en el Frente 02.

La cantera para conocer las características de mecánica de roca, realizó los ensayos De Oslo y análisis, sobre muestras de roca bruta tomadas de los frentes A y B que comprenden el Frente 02, en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela (UCV) en el año 2009, los cuales consistieron en:

- Peso específico: ASTM-127 equivalente COVENIN 269
- Resistencia a la compresión ASTM C-170
- Desgaste de los Ángeles ASTM C-131 equivalente COVENIN 266
- Abrasividad (Escala de *Mohs*)

Obteniendo los valores que se presentan en la Tabla 3 y como resultando de las seis muestras se obtiene:

Muestras 01, 02 y 03:

- Peso específico (kg/dm^3): 2,74
- Absorción (%): 0,49
- RCS (kgf/cm^2): 1.169
- Abrasividad (Escala *Mohs*): 4<-<5

Muestras 04, 05 y 06.

- Peso específico (kg/dm^3): 2,74
- Absorción (%): 0,49
- RCS (kgf/cm^2): 573
- Desgaste(%): 31,1 (T:A)
- Abrasividad (Escala *Mohs*): 4<-<5

Los datos obtenidos se encuentran dentro del rango de la compresión de la tabla de Miller (1965), de las propiedades geomecánica de algunas rocas características, entre la caliza metamórfica ($1.000 \text{ kgf}/\text{cm}^2$) y esquisto ($1.600 \text{ kgf}/\text{cm}^2$), ajustándose a la litología presente en el yacimiento.

Tabla 3. Valores registrados de la muestras del frente 02 (Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, IMME-UCV, 2.009).

Muestra	Ø(cm)	Altura (cm)	Peso(gr)	Carga Max (kgf)	Esfuerzo Max. (kgf/cm ³)
1	5,06	10,34	630	20.125	1.000
2	5,04	10,31	640	29.625	1.400
3	5,04	9,13	497	20.400	1.023
4	5,04	10,61	646	11.900	596
5	5,04	10,53	567	13.125	658
7	5,04	10,3	560	9.250	464

Fuente: Cantera Carayaca (2012).

1.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-NATURALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La información en los siguientes apartes fue tomada de Eudo Villegas, Estudio geológico del Abra topográfico de Tacagua y geotecnia detallada de los Km 0 al 4 de la Autopista Caracas-La Guaira. 2006.

1.5.1. Fisiografía.

El área de estudio comprende el abra topográfica de Tacagua y su entorno, que ocupa un área aproximada de 25 km³ producido por la amplia actividad tectónica caribeña, formadora de la Cordillera de La Costa venezolana y moldeada por los entes exógenos característicos de la zona subtropical. El valle es paralelo en ciertos sectores a la traza de la Falla Tacagua y posee orientación general de N45W entre coordenadas reticulares (1.170.500; 716.000) en el Norte cerca de Maiquetía y (1.164.000; 722.000) al Sur entrando a Caracas, en donde se convierte en la falla de El Ávila atravesando a Caracas por el Norte. La característica principal es la presencia de topografía abrupta, con valle en forma de “V”, con elevaciones entre 50 y 200 m del lado La Guaira y 900 a 1.500 m en Caracas.

El relieve se presenta muy accidentado, dominando por filas paralelas en dirección aproximada N60E, por lo general las pendientes se las laderas Sur son más empinadas que las del Norte. Se evidencian una serie de antiformes y sinformes asimétricos limitados o cortados por la traza de laguna de las fallas del sistema.

1.5.2. Drenajes.

La quebrada Tacagua representa el drenaje principal al que tributan todas las quebradas pertenecientes a la cuenca hidrográfica que abarca unos 150 km² y se extienden del Kilómetro 0+000 de la Autopista Caracas-La Guaira, sigue por las estribaciones y las filas del Sur-Oeste hasta el Alto de Iripa, pasando por el cerro de Las Piñas, sigue el valle confinado en forma de “V” del abra topográfico hasta los límites del Mar Caribe desde la punta de la Calera hasta el Faro de Cabo Blanco. Además del aporte hidráulico de las aguas escorrentía, se suma que por todo el cauce de la quebrada existen asentamientos humanos informales e industriales.

El patrón de drenaje general en la cuenca es dendrítico característico de las rocas metamórficas de la Cordillera de La Costa, aunque a escala local las fallas geológicas y diaclasas controlan el drenaje haciendo que tribute a la quebrada Tacagua en ángulo recto con drenajes alineados.

1.5.3. Clima.

El tipo climático es “tropical cálido con estación lluviosa hasta el mes de noviembre”, siendo Caracas de piso térmico subtropical con alturas que oscilan entre 800 m y 1.500 m, mostrando las siguientes características:

(a) Temperatura:

- Media anual de 24 C°.
- Media mensual máxima de 31 C°.
- Media mensual mínima de 17 C°.
- La estación más calurosa se representa después del solsticio de verano (final de junio).
- Oscilación media de la temperatura diaria de 8 C°.

En función de la altura y de las condiciones topográficas del área de estudio, se observa una diferencia del clima señalado a partir de 100-1.200 m. así como

también de acuerdo a diversos microclimas que depende, por lo esencial, del tiempo de exposición de las laderas al sol.

(b) Precipitación.

- Precipitación media anual: 600 a 800 mm. (cercano a 600 en los últimos 5 años).
- Un solo máximo de precipitaciones al año entre los meses de septiembre a noviembre y lluvia relativa entre los meses de diciembre a enero.
- Los meses de sequía (mensual inferior a 60 mm), entre los meses de febrero a agosto.
- Humedad relativa media anual (80 a 85 %).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el marco teórico se presentará la información conceptual, necesaria para comprender los procedimientos y cálculos pertinentes para los resultados de la investigación.

2.1. GEOMORFOLOGÍA.

La geomorfología como lo menciona Duque (2014) es la ciencia que estudia las formas de la Tierra. Se institucionalizó a finales del siglo XIX y principios del XX y sus haberes se asientan en los saberes acumulados por las demás Ciencias de La Tierra que se sistematizaron a partir de la actitud ilustrada respecto de la naturaleza y sus complejas consecuencias en nuestra cultura.

La geomorfología se especializa en estructuras (que atiende a la arquitectura geológica) y climática (que se interesa por el modelado) a su vez el estudio del relieve al conjunto de relaciones naturales que explica globalmente la geografía física.

Conecta la geología, climatología, hidrología y biogeografía, contando prioritariamente con el factor geológico que explica la disposición de los materiales, las estructuras derivadas de la tectónica y de la litología configuran frecuentemente los volúmenes del relieve de un modo más o menos directo, el clima introduce modalidades en la erosión y en el tipo de formaciones vegetales, de modo que la morfogénesis adquiere características propias en cada zona climática, la elaboración de geoformas también depende de los paleoclimas que se han sucedido en un determinado lugar. (Duque-Escobar 2003)

2.2. ESTIMACIÓN DE RESERVAS.

Consiste en calcular, con el mínimo error posible, la cantidad de mineral, metal, entre otros, existente en el yacimiento que se está estudiando.

2.2.1. Reservas posibles, probables y probadas.

Según la Clasificación de los recursos minerales utilizada por el U.S. Bureau of Mines y el U. S. Geological Survey (USA), las reservas de un yacimiento pueden ser clasificadas como Reservas demostradas que a su vez podemos desglosar en:

- **Reservas probadas:** hablaremos de mineral medido cuando dispongamos de una información directa tomada de un muestreo detallado de trincheras (calicatas), labores, sondeos. El tonelaje "real" no puede diferir en más de un 15 % con respecto al calculado.
- **Reservas probables:** también determinado por un muestreo, pero esta vez, más disperso. Aquí haremos algunas inferencias geológicas.
- **Reservas inferidas (reservas posibles):** para el concepto de reserva inferida primará el criterio geológico sobre las mediciones directas. Por ejemplo, este criterio puede estar basado en la repetición de rasgos geológicos en el yacimiento, o a través de la comparación con otro yacimiento equivalente.

Existen básicamente dos grupos de métodos a la hora de estimar las reservas de un yacimiento: los que se suelen llamar métodos geométricos o clásicos y los denominados métodos geo-estadísticos (López 2000).

2.2.2. Método clásico o geométrico.

Los métodos clásicos o geométricos, llamados así porque han sido los tradicionalmente usados y su cálculo se supone, básicamente, estimaciones de tipo geométrico, pueden ser, a su vez, de varios tipos: perfiles; triángulos; polígonos; matrices de bloques; contornos inverso de la distancia. Con la información que dispone la cantera el método más acorde para el cálculo de reservas, es el método de los perfiles que se explicara a continuación.

2.2.3. Método de los perfiles.

Este método se suele utilizar cuando se tiene cuerpos mineralizados de desarrollo irregular y que ha sido investigados con sondeos cuyas direcciones permiten establecer cortes o perfiles en los que basar la estimación de la reservas.

El área de cada corte o perfil se puede calcular de diversas formas (planímetro, regla de Simpson, papel milimetrado) y el volumen de bloque se obtiene por métodos:

(a) Multiplicando el área de cada sección por la mitad de la distancia a cada lado, con lo que cada corte genera un bloque; (b) hallando el área media entre dos perfiles consecutivos y multiplicando aquella por la distancia entre los cortes; en este caso es necesaria una corrección C para los volúmenes de las extremidades, que se calculan con la Ecuación 1.

$$(Ecuación 1) \quad C = (A1 \times d1)/2 + (A5 \times d2)/2$$

(c) consiste en aplicar la fórmula de prismoidal; con ella se toma tres secciones para calcular el volumen comprendido entre dos extremos, dándole un peso especial a la del centro. La ecuación a aplicar sería:

$$(Ecuación 2) \quad V = (A1 + 4A2 + A3)h/6$$

donde "h" es la distancia entre A1 y A3; este proceso se repetirá para A1, A2 y A3, después para A4, A5 y A6, así sucesivamente, siendo necesario, al final una corrección similar a la del caso anterior.

Una vez calculados los volúmenes V1, V2, etc., se tiene que hallar los pesos volumétricos o densidades aparentes para calcular el tonelaje de cada bloque, como se muestra en la Ecuación 3:

$$(Ecuación 3) \quad D = M/V$$

Las leyes medias (para obtener la cantidad de tonelaje de metal) aplicables a cada corte o perfil. Para las densidades aparentes, existen dos métodos: 1) si existe una correcta relación ley-peso volumétrico, lo cual es relativamente frecuente, una vez obtenida la ley media se calcula la densidad aparente a partir de aquella; 2) si no existe tal relación, se obtiene de forma semejante a como se calcula ley media.

2.3. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN.

El diseño de una mina tiene múltiples facetas y objetivos, entre los que cabe destacar: la selección del método de explotación, el dimensionamiento geométrico de la mina, la determinación del ritmo anual de producción y la ley de corte, la secuencia de extracción, entre otros.

La variabilidad de esos parámetros y las dificultades de cuantificación total de los mismos, han impedido el desarrollo de reglas rígidas y esquemas precisos de explotación aplicables a cada yacimiento particular. No obstante, los avances logrados en las diferentes ramas de la ciencia durante las últimas décadas, han permitido establecer unos métodos generales de explotación y unos procesos numéricos de selección válidos durante la etapa de viabilidad de proyecto.

2.3.1. Tipos de yacimientos explotables.

Los depósitos de minerales explotables pueden presentar condiciones naturales muy variadas. Las clasificaciones de los yacimientos, desde el punto de vista de su explotación, se realizan comúnmente, atendiendo a diferentes criterios, entre los que cabe destacar los que escriben a continuación (Rzhevsky, 1987 citado por López, 2000)

Por su Forma:

- Isométricos, estratificados y filonianos, columnares o cilíndricos e Intermedios o mixtos.

Por su proximidad a la superficie:

- Superficiales, profundos y Variables.

Por su inclinación:

- Horizontales, tumbados, inclinados y Verticales.

Por complejidad o número de mineralizaciones:

- Simples y complejos.

Por distribución de la calidad del mineral en el yacimiento.

- Uniformes y No uniformes.

Por el tipo de roca dominante.

- El recubrimiento de estéril y mineral son rocas compactas metamórficas o ígneas.
- El recubrimiento está constituido por rocas no homogéneas con alternancia de estéril blando y duros.
- Las rocas del estéril de recubrimiento son blandas y densas.
- Tanto el recubrimiento como la zona mineralizada están constituidas de rocas ígneas o metamórficas meteorizadas.
- Las rocas de recubrimiento son blandas sedimentarias.
- El recubrimiento es blando y sedimentario.

Por el relieve del terreno original:

- Horizontales o planos, En ladera, Montañosos y submarinos.

Por lo anteriormente expuesto el tipo más acorde al yacimiento, es el caracterizado por el relieve del terreno original, siendo el montañoso como se define a continuación:

Montañosos: el terreno es irregular y presenta importantes accidentes topográficos.

La geometría del terreno determina, en cierta medida, el método de explotación y la aplicación de medios mecánicos para llevar a cabo la extracción de los distintos materiales.

2.3.2. Generalidades sobre los métodos de explotación.

Normalmente se distinguen dos grandes grupos de métodos: de superficie o a cielo abierto y de interior o subterráneos.

La minería a cielo abierto se caracteriza por los grandes volúmenes que se deben mover. La disposición del yacimiento y el recubrimiento e intercalaciones de material estéril determinan la relación estéril/mineral con que se debe extraer este último. Este parámetro, comúnmente denominado ratio, puede ser muy variable de unos depósitos a otros, pero en todos condiciona la viabilidad económica de la explotación y consecuentemente, la profundidad que es posible alcanzar por minería de superficie.

(a) Método de explotación a cielo abierto

El agotamiento progresivo de los depósitos minerales próximos a la superficie y de alta ley, ha obligado a las compañías explotadoras a considerar los yacimientos profundos, con condiciones geológicas más complejas y situaciones más desfavorables en cuanto a relaciones de estéril a mineral, aguas subterráneas, estabilidad de taludes, entre otras.

La minería a cielo abierto sufrió un importante impulso innovador, al seguir aportando más del 70% de los productos minerales en todo el mundo y la maquinaria que se emplea paso a evolucionar, no tanto en un crecimiento de tamaño, como en la mejora de la fiabilidad de sus componentes y automatizaciones de funciones y mecanismos. Esta evolución se ha reducido en un incremento de los rendimientos, un mejor aprovechamiento energético, una mayor disponibilidad de la maquinaria y, en esencia en un abaratamiento de costos.

Seguidamente se hace un breve descripción de los principales métodos que se aplican en minería de superficie, destacando las características que deben cumplir los yacimientos y algunos aspectos operativos de interés (López, 1991).

Los diversos métodos de explotación a cielo abierto son Cortas o Bancos, Descubiertas, Contornos, Graveras, Especiales, Disolución y lixiviación, Dragado, Terrazas y Canteras.

Para las características mineralógicas del yacimiento y la actividad minera que se desarrolla en el Frente 02, el método de explotación es el de Cantera como se describe a continuación:

(a.1) Canteras.

Cantera es el término genérico que se utiliza para referirse a las explotaciones de roca industrial y ornamental. Se trata, por lo general de pequeñas explotaciones próximas a los centros de consumo, debido al valor relativamente escaso que poseen los minerales extraídos, que pueden operarse mediante los métodos de banco único de gran altura o bancos múltiples. Este último es el más adecuado, ya que permite realizar los trabajos con mayor condición de trabajo de seguridad y posibilita la recuperación más fácil de los terrenos afectados.

Las canteras pueden subdividirse en dos grandes grupos: el primero donde se desea obtener un todo-uno fragmentado y apto para alimentar a la planta de tratamiento y obtener un producto destinado para la construcción, en forma de áridos, a la fabricación de cemento, etc. Y el segundo, dedicado a la explotación de rocas ornamentales que se basa en la extracción cuidadosa de grandes bloques paralelepípedos que posteriormente se cortaran y elaboraran. Estas últimas canteras se caracterizan por el gran número de bancos que se abren para arrancar

los bloques y la maquinaria especial de arranque con las que se obtienen planos de cortes limpios.

2.3.3. PLAN DE TRABAJO EN UN PERIODO DE TIEMPO.

En el desarrollo de planes secuenciales de explotación de material, se establece cierta metodología, que permita obtener un avance acorde a los requerimientos de la mina. Basado en eso se puede considerar lo siguiente (Hustrulid 2006):

La mayor parte del desarrollo de explotación, se realiza con los mapas del plan o de banqueo los cuales muestran:

- Topografía o superficie de contorno
- Ubicación de mineral
- Límites geológicos, y
- Límites de diseño

Los mapas que presentan las fases finales por periodos de explotación, muestran la forma de la mina al final de cada período y deben mantener la secuencia y siguientes consideraciones:

- Evitar conflictos entre las características del plan
- Proporcionar un panorama de los accesos en cada etapa del desarrollo
- Ilustrar la vertiente de trabajo, sala de funcionamiento real y la relación espacial entre el mineral y los residuos.

A medida que los contornos de banco se han trazado, se muestra los caminos de acarreo, áreas y parte de los vertederos de residuos. En este sistema se identifica en base a la elevación se menciona a continuación:

a) Fuera del pozo los contornos están etiquetados con sus verdaderas elevaciones.

b) En el interior de la fosa:

- Las elevaciones marcadas se refieren a las elevaciones del pie de banco.
- Las elevaciones de líneas centrales de banco son la mitad de la altura del banco encima de la elevación del pie del banco.

- En las rampas, las líneas centrales del banco cruzan la mitad rampa entre banca.

En una mina operativa, habrá diversos planes que cubren períodos diferentes de explotación, el personal de ingeniería es generalmente responsable de realizar las siguientes actividades:

- Estimación de reservas de mineral anual.
- Los planes anuales o plurianuales con respecto a la progresión de la fosa, los cambios en los caminos de acarreo, entre otros.
- Planes trimestrales y
- Planes mensuales

El personal que operativo se encarga en desarrollar:

- Planes semanales
- Planes diarios.
- O en el marco de más alcance.

2.3.4. Criterios de diseño de minas a cielo abierto.

Una exploración a cielo abierto es una excavación realizada en la superficie del terreno con el fin de extraer un material beneficiarle de la corteza terrestre. Esta operación implica, generalmente, mover cantidades variables de estéril, según la profundidad del depósito o espesor del recubrimiento.

El procedimiento para realizar la explotación queda definido por la aplicación de unos parámetros o criterios de diseño de la excavación, que permiten alcanzar las producciones programadas, de la forma más económica posible y en condiciones de seguridad y evaluar en la etapa inicial las reservas explotables.

Entre los criterios de diseños operativos planteados en la minería podemos mencionar (Crawford 1979 citado por López, 2000 y Hustrulid, 2006):

- Altura de banco.
- Talud de banco.
- Talud de trabajo.
- Límites finales de la explotación.

- Talud final de la explotación.
- Bermas.
- Angulo de reposo del material
- Anchos banco operativo y finales.
- Pendiente general operativo.
- Anchos y pendientes de vías.

Algunos valores típicos son de la siguiente manera:

- Anchos de banco finales igual a la altura de banco.
- Ancho mínimo de trabajo en promedio esta entre 41 a 46 m y 8 a 24 m dependiendo de la anchura de los equipos.
- Máximo grado de carreteras 8 a 12 %.

El punto de partida para el diseño de cualquier explotación a cielo abierto es la modelización geológica del yacimiento que se haya realizado con anterioridad a partir de los trabajos de investigación. Tras efectuar el diseño del fosa final y evaluar las reservas explotables, se pasa a diseñar algunas faces intermedias y a continuación a definir el método de explotación y seleccionar la maquinaria que constituye el sistema minero.

2.3.5. Estabilidad de taludes.

La estabilidad de los taludes en una explotación a cielo abierto tiene una importancia fundamental en lo que se refiere a la seguridad y rentabilidad de la misma, debiéndose considerar en los estados iniciales del proyecto (Walton y Atkinson, 1978 citado por López 2000).

Los factores más importantes que afectan a la seguridad de las operaciones son los siguientes:

- Caída o deslizamiento de materiales sueltos.
- Colapso parcial de un banco.
- Colapso general del talud de la excavación.

Las recomendaciones con relación al control y eliminación de tales riesgos implican la adopción de las siguientes medidas:

- Diseño adecuado de bancos y plataformas para retener los desprendimientos de materiales.
- Determinación y mantenimiento adecuado de los taludes generales seguros.
- Control de voladura en el perímetro de excavación de cara a reducir los daños en el macizo remanente.
- Aplicación de sistema de drenaje de los macizos para reducir los esfuerzos originados por el agua.
- Saneamiento sistemático y efectivo de materiales colgados.

Los estudios previos necesarios para realizar el diseño geotécnico de un talud estable implican una caracterización del macizo rocoso objeto de la excavación a partir de:

- Los sistemas de juntas y discontinuidades.
- La relación de estos y la excavación con los posibles planos de rotura.
- Los parámetros resistentes de las juntas las características y propiedades de sus superficies así como los materiales que las rellenan.
- Las propiedades geo-mecánicas de la matriz rocosa.
- Las características hidrogeológicas y las presiones de agua en juntas de fracturas.
- Efecto de las vibraciones sobre los macizos residuales.

2.3.6. Altura de bancos.

La altura de bancos es la distancia vertical entre dos niveles o lo que es lo mismo, desde el pie del banco hasta la parte más alta o cabeza del mismo (López 2000), se establece a partir de las dimensiones de los equipos de excavación y carga, las características del macizo y las exigencias de selectividad. Fundamentalmente es el equipo de carga y la altura máxima que alcanza el cucharón, el condicionante para establecer la altura de banco. Este criterio permite utilizar la pala o excavadora para sacar cualquier punto de frente y mantener unas condiciones operativas de seguridad aceptables. La experiencia de la explotación a cielo abierto más técnicamente sugiere alturas máximas comprendidas entre 10 y 20 m.

Dentro de la gama recomendada las alturas mayores tienen no obstante las siguientes ventajas:

- Mayor rendimiento de la perforación al reducirse los tiempos muertos de cambio de posición y la menor percusión de los costes relativos a sobre-perforación y explosivos.
- Una geometría de voladura optima dentro de la tendencia actual hacia mayores diámetros de perforación que exige mayores alturas de banco.
- Mejora de los rendimientos de los equipos de carga al reducirse los tiempos muertos por cambio de tajo, así como por desplazamientos del equipo dentro del mismo.
- Menor número de bancos y por tanto mayor concentración y eficiencia de la maquinaria.
- Infraestructura de accesos más económica por menor número de niveles de trabajo.

Las ventajas de una altura de banco reducida son las siguientes:

- Mejores condiciones de seguridad para el personal y maquinaria, pues el alcance de las máquinas de carga permite un mejor saneo y limpieza de los frentes durante la operación.
- Control más efectivo de las desviaciones de los barrenos, especialmente si se utilizan perforaciones de martillo en cabeza.
- Menores cargas operantes de explosivo, por lo que con consecuencias de encendido adecuadas, se disminuyen los problemas las vibraciones y ondas aérea.
- Mayor rapidez en la ejecución de rampas de acceso entre bancos.
- Mejores condiciones para la restauración y tratamiento de los taludes finales.

La selección de la altura óptima es pues el resultado de un análisis técnico económico apoyado en estudios geotécnicos que incluyan el aspecto de seguridad de las operaciones, así como en estudios de recuperación de los terrenos afectados por las actividades mineras.

Como orientación, el alcance máximo de la gama mayor de palas de ruedas no suele sobrepasar los 10 m, mientras que para determinados modelos de excavadoras, tanto de cables como hidráulicas puede alcanzar los 18 m.

2.3.7. Ancho operativo (anchura de tajo).

La anchura mínima de banco de trabajo es la suma de los espacios necesarios para el movimiento de la maquinaria que trabaja en ellos simultáneamente.

Los tres procesos básicos que tienen lugar en el interior de una explotación: perforación, carga y transporte y que pueden o no simultanearse en el mismo banco. La medida correspondiente a la perforación (P) depende del área que ocupe la máquina perforadora, que en el caso de ejecutar barrenos verticales, pues solo ocupará la mitad de su ancho operativo de su ancho detrás de la última fila al poder situarse longitudinalmente en el banco y la anchura de la voladura proyectada.

La anchura correspondiente al transporte se verá más adelante, al tratar del diseño de las pistas y en relación con la zona de maniobras de la máquina que realice la carga, su anchura desde el frente del tajo a la zona de seguridad debe ser por lo menos 1,5 veces la longitud de la cargadora. Siempre será necesario dejar la orden de 1,5 m, como anchura de seguridad (S) hasta el banco.

2.3.8. Ángulo de Talud.

(a) Ángulos de talud en explotaciones a cielo abierto.

Los parámetros geométricos son muy importantes para la explotación minera, entre ellos los ángulos de talud (Figuras 11A y 11B), ya que restringen las operaciones para garantizar la estabilidad de los sectores de trabajo, para lo cual se requiere mantener una geometría de diseño generando la mejor producción y un mínimo factor de riesgo de que ocurra algún incidente geomecánico.

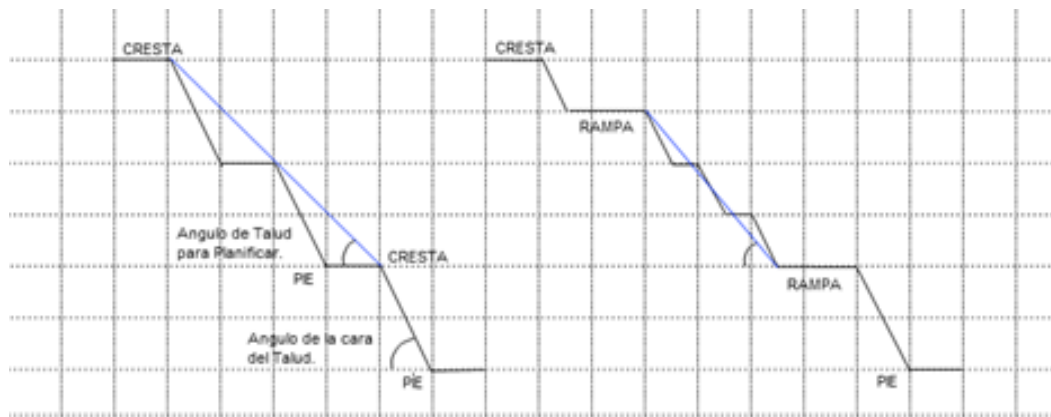


Figura 11A. Ángulos de Cara de Banco e Inter rampas. Fuente: Modificado Portal Minero S.A.

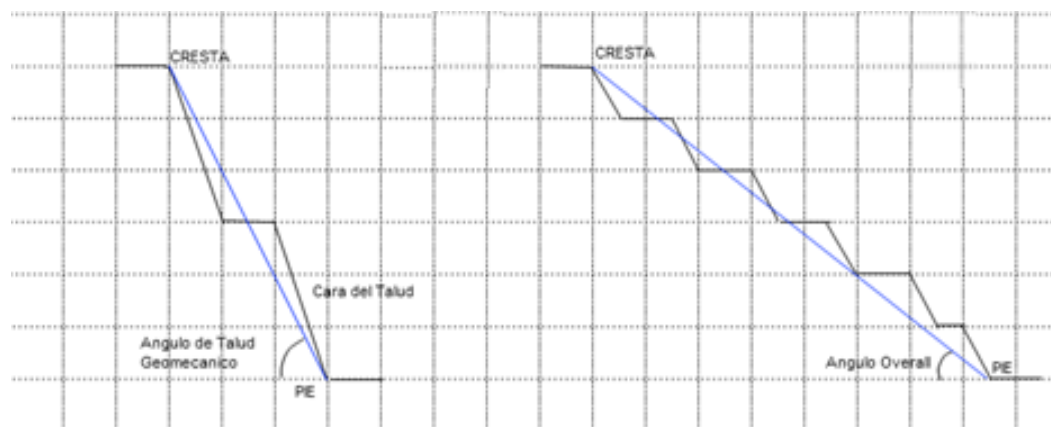


Figura 11B. Ángulos de Talud Geomecánico y Final. Fuente: Modificado Portal Minero S.A.

(a.1) Ángulo de cara de Banco. (López 2000).

En cuanto al ángulo de la cara de banco puede decirse que es en función del tipo de material y la altura del banco. Cuando más coherente y más abajo sea el banco, más vertical puede ser la cara del mismo y por el contrario, cuanto más suelto y alto, más tendido será el talud; función, pues de las características estructurales y resistentes de los materiales y que deberá ser determinado geo-mecánicamente.

Otro factor que puede obligar a inclinar la cara de banco es el buen efecto que sobre la voladura ejerce el disparo con barrenos inclinados. Pero en conjunto, puede darse la recomendación de operar con dos, uno inclinado que puede coincidir con el ángulo de la cara de trabajo y el otro más vertical, igual al ángulo final de la cara de

banco, especialmente si en las últimas voladuras se utilizan barrenos de contorno para mejorar la estabilidad de los macizos residuales.

Es aconsejable utilizar durante el trabajo, en rocas medias, ángulos de cara de banco entre 60 y 80 grados, y al final dejarlos casi verticales, incluso uniendo varios bancos, para poder disponer de bermas de seguridad más prácticas. Esto último dependerá del plan de restauración previsto y técnica de tratamiento de esos taludes. En caso de las graveras, los perfiles finales de los huecos se diseñaran de acuerdo con los objetivos del plan de restauración, dependiendo de la existencia permanente o no de agua.

También es importante resaltar otros ángulos de talud con que se trabaja en una explotación a cielo abierto los cuales son los siguientes: (Portal Minero S.A., 2006).

(a.2) Ángulo de talud inter rampas:

Representa la inclinación con que queda el conjunto de bancos que se sitúan entre una rampa y la rampa consecutiva, este ángulo se mide desde el pie del banco superior donde se encuentra una rampa hasta la cresta del banco donde se encuentra la otra rampa.

(a.3) Ángulo de talud de un conjunto de bancos:

Representa la inclinación con que queda un grupo de bancos sin existir entre ellos alguna diferencia geométrica importante, este ángulo se mide desde el pie del banco más profundo hasta la cresta del banco de cota mayor.

(a.4) Ángulo de talud Final (*overall*):

Representa el ángulo de inclinación con que queda la pared final del talud, incluyendo todas las singularidades geométricas existentes, este ángulo se mide

desde el pie del banco más profundo hasta la cresta del banco más alto de la explotación.

2.3.9. Bermas.

Se define como berma a aquellas plataformas horizontales existentes en los límites de la excavación sobre los taludes finales que coadyuvan a mejorar la estabilidad de un talud y las condiciones de seguridad frente a deslizamiento o caída de piedras (López 2000).

Las bermas se utilizan como acceso en el talud de una excavación y también como áreas de protección de los frentes de los bancos superiores. La altura o separaciones entre bermas es función del talud de cara de banco y las dimensiones de los equipos existentes.

Si el situado ángulo es inferior a 45° y los materiales que lo configuran son del tipo lajoso, su caída tendrá lugar por deslizamiento recomendándose dejar la berma cada tres o cuatro bancos.

En el supuesto de conocerse la inclinación de las superficies de rotura de los bancos y el ángulo de reposo del material fragmentado, es posible dimensionar las bermas para evitar caídas a niveles inferiores.

2.3.10. Pistas y rampas.

Son los caminos por los cuales las unidades de acarreo realizan el transporte de mineral dentro de la explotación. También existen rampas que se utilizan exclusivamente para el acceso a los niveles de trabajo de las máquinas que efectúan el arranque a operaciones auxiliares.

Tienen distintas características de diseño, pues mientras que por las mineras circulación es continua en los marcha rápida y en dos sentidos (Figura 12A y 12B), la

utilización de la segunda es mínima y a velocidad de mucho más lenta. Comenzando por estas últimas, su pendiente no debe sobrepasar el 20% (11 grados). Con respecto a su anchura, esta debe superar por lo menos, en dos metros el ancho de la vía de la unidad más ancha que vaya a circular por ella.

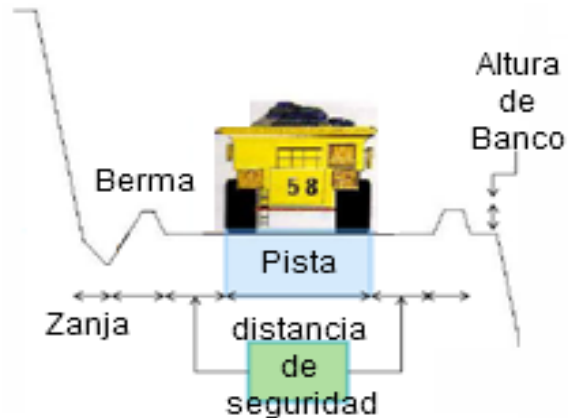


Figura 12A. Parámetros para el diseño de Pistas de una vía. Fuente: Portal Minero S.A



Figura 12B. Parámetros para el diseño de Pistas de doble vía. Fuente: Modificado Portal Minero S.A

En las pistas su diseño debe ser tal que las unidades de transporte que se utilicen se muevan sin perder el ritmo de operación en condiciones seguras. Los criterios se refieren a:

- Firme
- Pendiente
- Anchura de pista.
- Curvas: radios, peraltes y sobre ancho.
- Visibilidad en curvas y cambios de rasante.
- Convexidad o bombeo.

En los siguientes apartes, se incluye información sobre los criterios de diseño de vías del Portal Minero S.A, 2006.

(a) Anchuras de pistas.

La anchura de las pistas que se recomienda puede estimarse con la Ecuación 4:

(Ecuación 4) $A = a (0,5 + 1,5n)$

donde (A) anchura total de la pista en metros, (a) anchura del vehículo en metro, (n) número de carriles deseados.

Esto significa que tanto a la izquierda como a la derecha de cada vehículo debe dejarse una separación de seguridad equivalente a la mitad de la anchura de este.

(b) Radios y sobre anchos en las curvas.

Para que las curvas no supongan una limitación en la producción deben tener un radio mínimo de 20 a 30 metros, dependiendo del vehículo que se utilice.

La Ecuación 5 es utilizada para calcular el sobre ancho necesario es la debida a Voshell:

(Ecuación 5) $f = 2(R - \sqrt{R^2 - L^2})5.8/VR;$

donde (f) es el sobre ancho en metros, (R) el radio de la curva en metros y (L) distancia entre ejes del volquete en metros.

(c) Peralte

Para contrarrestar la fuerza centrífuga que aparece en las curvas, originando deslizamiento transversales e incluidos vuelcos, el peralte o sobreelevación del lado exterior de la curva se calcula a partir de la Ecuación 6:

(Ecuación 6)
$$e = (v^2 / 127.14R) - f;$$

donde (e) es tangente del ángulo del plano horizontal con la pistas, (v) velocidad kg/h, (R) radio de la curva en metros y (f) el coeficiente de fricción.

(d) Diseño de Vías de Acarreo

El estudio y proyecto de vías abarca varias fases como la selección y evaluación de rutas, estudio de los trazados alternos, evaluación de los trazados y elaboración del proyecto de vía

(d.1) Selección y Evaluación de Rutas

Para la selección de la ruta (Kaufman citado por Herness 1977) se evalúa las áreas que se quieren comunicar y dentro de la cual podrá localizarse el trazado de la vía. La localización de una vía está influenciada por diversos factores, entre los cuales destacan:

- La topografía, es uno de los factores principales, puesto que afecta los alineamientos, pendientes, visibilidad y sección transversal de la vía.
- Las características físicas, la presencia de zonas inestables, secuencia estratigráfica, litología, geotecnia, son factores muy importantes en la selección de una ruta.
- Las restricciones ambientales, se consideran los factores de control de contaminación, atmosférica, ruidos, uso de la tierra, infraestructura cercanas entre otros.

(d.2) Estudio del trazado de vías

El proceso del trazado de las vías involucra evaluar y seleccionar de las posibles rutas en el terreno que sean consideradas factibles para su desarrollo (SME, 1979).

Para ello es necesario ejecutar varias acciones:

- Reconocer la topografía, examinar el campo que permita obtener información adicional para las rutas seleccionadas.
- Poligonal del estudio, se establecen líneas o poligonales que constituye una aproximación del eje de la vía.

- Estudio del trazado, para cumplir las especificaciones técnicas que se establezcan como lo son: pendientes máximas y radios de curvatura mínimo.
- Evaluación de los trazados, se considera aspectos técnicos, sociales, ambientales y económicos de las alternativas de trazadas.

2.4. SISTEMAS Y MAQUINARIA DE EXPLOTACIÓN.

2.4.1. Clasificación de los sistemas mineros (López, 2000).

Después de haber definido el método aplicable es necesario establecer el sistema de explotación. Este está constituido por los diferentes equipos de arranque, carga y acarreo y según la continuidad del ciclo básico, se diferencian los siguientes sistemas.

Sistema totalmente discontinuo, mixto con trituradora estacionaria dentro de la explotación; mixto con trituradora semimovil dentro de la explotación; continuo con trituradora móvil y arranque discontinuo; de transporte mixto y arranque continuo; y arranque y transporte continuos.

Sistema totalmente discontinuo: La operación de arranque, con o sin voladura, se lleva acabo con equipos discontinuos y el transporte se efectuara con volquetes mineros, siendo este el sistema más implementado debido a su gran versatilidad.

2.4.2. Operaciones básicas y clasificación de equipos.

En el ciclo de explotación minera se puede definir como una sucesión de fases a operaciones básicas aplicadas tanto al material estéril como al mineral. Según las condiciones del proyecto que se esté llevando a cabo, existirán o no operaciones auxiliares o de apoyo cuya misión es hacer que se cumplan con mayor eficiencia posible las operaciones básicas pertinentes (Figura 13).

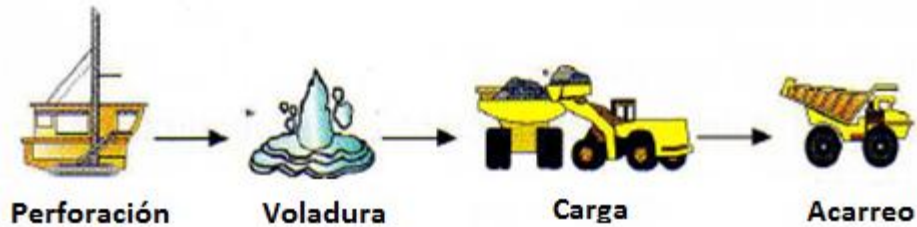


Figura 13. Parámetros para el diseño de Pistas de doble vía. Fuente: Modificado Portal Minero S.A.

Las fases que engloban el ciclo minero son, generalmente las siguientes: arranque, carga, transporte y vertido (Martin, 1987 citado por López, 2000)

El arranque es por necesidad, la primera de las operaciones para el movimiento del material y consiste en fragmentar estos a un tamaño adecuado para su posterior manipulación por los equipos de fases subsiguientes.

La fragmentación de la roca puede efectuarse fundamentalmente por dos métodos bien definidos; indirectos: por medio de la energía liberada por explosivos colocados en el interior de los macizos rocoso dentro de barrenos; y directos por la acción mecánica de una herramienta sobre un equipo.

La carga consiste en la recogida del material ya fragmentado por la depositarlo seguidamente, en la mayoría de los casos, sobre otro equipo o instalación adyacente.

El transporte es la fase que posee en la actualidad una mayor repercusión económica sobre el ciclo de explotación y que puede cifrarse entre 40 y el 60% del coste total e incluso dela inversión en equipos principales. Se basa en la extracción o desplazamiento de los diferentes materiales hasta las plantas de tratamiento. En el caso de los minerales o hasta vertederos en el caso de estériles.

2.5. TIPO DE ARRANQUE MATERIAL.

Para el desarrollar el arranque de material desde el frente de trabajo, existen diversas formas, dependiendo para que sea destinado el producto, ya sea agregado para la construcción o como roca ornamental.

2.5.1. Arranque de roca ornamental.

Para el desarrollo de arranque de roca ornamental existen varias técnicas en las cuales tenemos: (Herrera, 2006).

(a) Técnicas de corte por perforación de barrenos próximos, con y sin voladura:

Esta técnica consiste en la apertura de unos barrenos muy próximos y paralelos de un pequeño diámetro para poder introducir un corte a través del plano constituido por los mismos mediante la acción de una adicional presión hidráulica, mecánica o por la acción de la pólvora o del cordón detonante. Este sistema se debe aplicar fundamentalmente sobre la roca de mayor dureza y agresividad grupo de los granitos aunque coexisten con otros sistemas, para el resto de las rocas ornamentales, en donde se debería utilizar o abusar menos del grado de recuperación y la calidad de la roca vendible.

(b) Técnica de corte mecánico.

Entre las técnicas de corte mecánico tenemos las siguientes:

- Rozadoras de brazo
- Equipos de corte con disco
- Equipos de corte con chorro de agua
- Cuñas manuales e hidráulicas.
- Equipos de corte con hilo diamantado.

2.5.2. Arranque de roca para agregados para construcción.

(a) Perforación

La perforación y voladura, es el método más usado respecto al arranque de material en las canteras, como agregado para la construcción, así como se menciona en los siguientes apartes tomados López 2003.

(a.1) Principios generales de la perforación

La primera operación de la explotación de una mina o cantera la constituye la perforación. Ésta precede a la voladura, con la cual está asociada para fragmentar el material consolidado (generalmente roca) *in situ*. El propósito de la perforación en las operaciones mineras, lo constituye la apertura de un hueco para la colocación de explosivos, cuando no hay alternativa diferente a la voladura, para fragmentar la roca resistente a cualquier otra forma de excavación. Además, la perforación en minería también es empleada en operaciones de drenaje, estabilidad de taludes, muestreo de suelo para fundaciones, entre otras.

(a.2) Métodos de penetración en la roca

La perforación de las rocas dentro del campo de las voladuras es la primera operación que se realiza y tiene como finalidad abrir unos huecos, con la distribución y geometría adecuada dentro de los macizos, donde alojara las cargas de explosivo y sus accesorios iniciadores. Los sistemas de penetración de la roca que han sido desarrollados y clasificados por orden de aplicación como se lee en la Figura 14.

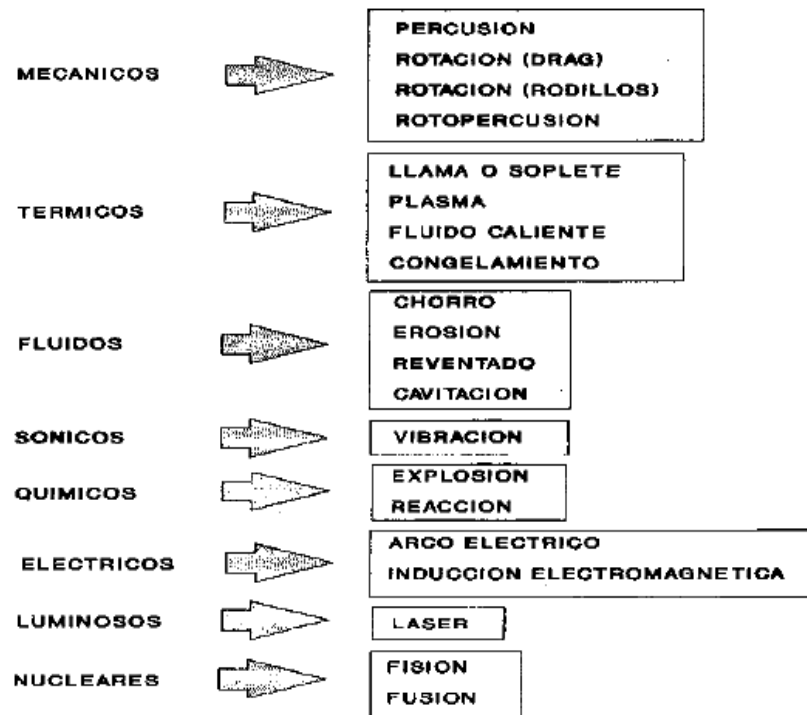


Figura 14. Sistemas de penetración de la roca. Fuente: López. 2003.

A pesar de la gran variedad de métodos de penetración de la roca que existe, el de ataque mecánico constituye, el de mayor utilización, en sus dos tipos: Percusión y rotación, y el método híbrido de la resultante de combinar los métodos de rotación y percusión: la rotopercusión.

(b). Voladuras.

La voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de barrenos perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento.

El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes por tamaños, mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada.

(b.1) Campos de aplicación de las voladuras.

Los explosivos de uso industrial se aplican en dos tipos de voladuras subterráneas y de superficie, en circunstancias donde la roca presente es dura o competente y no puede ser arrancada mecánicamente.

Los trabajos de superficie comprenden: apertura de carreteras, canales, canteras de material para la construcción, cimentaciones, demoliciones y minas a cielo abierto, los que son efectuados con dinamitas y emulsiones de pequeño a mediano diámetro, ANFO y emulsiones encartuchadas en canteras y obras viales, mientras que los yacimientos explotados a cielo abierto tienen empleo mayoritario de ANFO a granel, *slurries*, emulsiones (en cartuchos de lámina plástica PVC hasta 8" de diámetro (203 mm) y a granel en carguío mecanizado en taladros de 127 mm (5") hasta 304 mm (12") de diámetro.

2.5.3. Voladuras a cielo abierto.

La voladura de banco es el más común de los trabajos de voladura. Se puede definir como voladura de barrenos verticales o casi verticales en una o más filas contra una superficie libre. La voladura de banco también se puede realizar con barrenos horizontales o banqueo horizontal.

(a) Clasificación de las voladuras en banco.

Una clasificación muy usual de las voladuras en banco se hace atendiendo al diámetro de los barrenos:

- Voladuras de pequeño diámetro: (65 - 165) mm, en este tipo de voladuras se puede seguir la técnica sueca desarrollada por *Langefors* y *Kihlström*. De relevante importancia.
- Voladuras de gran diámetro (180 - 450) mm, en este tipo de voladuras se puede seguir la técnica del cráter desarrollada por *Livingston* o criterios americanos.

2.5.4. Voladuras en banco de pequeño diámetro.

Este tipo de voladuras tienen su mayor aplicación en canteras, excavaciones de obras públicas y minería a cielo abierto de pequeña escala. Las cargas de explosivos son cilíndricas con una relación calculada mediante la Ecuación 7.

(Ecuación 7) $l/D > 100$

y se realizan por lo general con dos tipos de explosivos, uno para la carga de fondo y el otro para la carga de columna.

La carga específica o factor de carga (kg/m^3), provee una medida de primera mano de la volabilidad de la roca. Si se utiliza como base de cálculo, es posible calcular la carga adecuada para cada tipo de roca. La distribución de los explosivos en la roca es de suma importancia. Un frente con barrenos poco espaciados y de diámetro pequeño proporciona una mejor fragmentación que un frente con barrenos mucho más espaciados y de gran diámetro, asumiendo que se utiliza el mismo factor de carga.

(a) Diámetro de perforación (ϕ):

La elección del diámetro de perforación depende de la producción horaria o del ritmo de la excavación y de la resistencia de la roca, considerando que los costos de perforación disminuyen en la mayoría de los casos con el aumento del diámetro de la broca seleccionada.

(b) Altura de banco (H):

La distancia vertical desde la superficie horizontal superior (cresta) a la inferior (piso), es lo que denominamos altura de banco.

(c) Retiro o *burden* (B):

El retiro se define como la distancia más corta al punto de alivio al momento de detonaron barreno, el alivio es considerado como la cara original del banco o bien como una cara interna creada por una hilera de barrenos que han sido detonados previamente con un retardo anterior.

Basada en las teorías del Dr. Ash. Determina el *burden* con base en la relación entre el diámetro de la carga explosiva y la densidad, tanto del explosivo como de la roca, según la ecuación 8:

(Ecuación 8)
$$B_{\max} = (3,15 \times \Phi_e) \times \sqrt[3]{\frac{\rho_e}{\rho_r}}$$

Donde el (Bmax) es el Burden máximo en pies (Φ_e) el diámetro del explosivo, en pulgadas, (ρ_e) es la densidad del explosivo y (ρ_r) es la densidad de la roca.

(d) Espaciamiento (S).

Es la distancia entre perforaciones de una misma fila que se disparan con un mismo retardo o con retardos diferentes y mayores en la misma fila.

(e) Sobreperforación (Sp)

Sobreperforar es importante en los taladros verticales para mantener la rasante del piso. Si resulta corta normalmente reproducirán lomos, pero si es excesiva se produciría sobre excavación con incremento de vibraciones y de los costos de perforación. Y se calcula mediante la Ecuación 9.

(Ecuación 9)
$$Sp = (0,30 \times B_{\max})$$

(f) Longitud o profundidad de la perforación (L)

La longitud de taladro tiene marcada influencia en el diseño total de la voladura y es factor determinante en el diámetro, burden y espaciado. Es la suma de altura de banco más la sobreperforación necesaria por debajo del nivel o razante del piso para garantizar su buena rotura y evitar que queden lomos o resaltos (toes), que afectan al trabajo del equipo de limpieza y deben ser eliminados por rotura secundaria. Para perforaciones verticales que son los más aplicados en las voladuras a cielo abierto con taladros de gran diámetro, la Longitud de la Perforación se ajusta a la Ecuación 10:

(Ecuaciones 10)
$$L = H + Sp$$

(g) Longitud de taco o retaqueo (T)

Normalmente el taladro no se llena en su parte superior o collar, la que se rellena con material inerte que tiene la función de retener a los gases generados durante la detonación, sólo durante fracciones de segundo, suficientes para evitar que estos gases fuguen como un soplo por la boca del taladro y más bien trabajen en la fragmentación y desplazamiento de la roca en toda la longitud de la columna de carga explosiva.

2.5.5. Conceptos Empleados en el diseño de las cargas

(a) Columna explosiva: Es la parte activa del taladro de voladura, también denominada “longitud de carga” donde se produce la reacción explosiva y la presión inicial de los gases contra las paredes del taladro.

(b) Carga de fondo (Qf): Es la carga explosiva de mayor densidad y potencia requerida al fondo del barreno para romper la parte más confinada y garantizar la rotura al piso, para, junto con la sobreperforación, mantener la rasante, evitando la

formación de resaltos o lomos y también limitar la fragmentación gruesa con presencia de bolones.

(c) Carga de columna (Qc): Se ubica sobre la carga de fondo y puede ser de menor densidad, potencia o concentración ya que el confinamiento de la roca en este sector del taladro es menor, empleándose normalmente ANFO convencional.

(d) Carga específica (fc): Llamado también consumo específico o factor de carga (*Power factor*). Es la cantidad de explosivo necesaria para fragmentar 1m^3 o Yd^3 de roca.

2.5.6. Criterios para el cálculo de las variables de voladura.

El valor más crítico en el diseño de un patrón de voladura es el Burden, para su determinación, varios investigadores han dedicado esfuerzos, entre los que podemos mencionar:

Andersen (1952), Fraenkel (1952), Pearse (1955), Hino (1959), Allsman (1960), Ash (1963), Langefors (1963), Hansen (1967), Ucar (1972), Konya (1972), Földesi (1980), Praillet (1980), López Jimeno (1980), Borquez (1981), Konya (1983), Berta (1985), Bruce Carr (1985), Olofsson (1990), Rustan (1990) y Comeau (1995).

(a) Cálculo de cargas explosivas de voladura de rocas (Konya):

Para la selección de las cargas explosivas, este autor definió los siguientes (Figura 15) criterios y formulas (Konya 1983 citado por López 2003):

Carga de Fondo (Ob)	Nom.	Unid	Formula
Concentración de la carga de fondo	Q_f	(kg/m)	$q_f = \left(\frac{\rho_{exp} \times \Phi b^2}{1276} \right)$
Altura de la carga de fondo	H_f	(m)	$h_f = 1.3 \times B_{max}$
Peso de la carga de fondo del barreno	Q_f	(kg)	$Q_f = q_f \times h_f$
Carga de Columna			
Concentración de la carga de columna	Q_c	(kg/m)	$q_c = \left(\frac{\rho_{exp} \times \Phi b^2}{1276} \right)$
Altura de la carga de columna	h_c	(m)	$h_c = L - h_f - T$
Peso de la carga de columna del barreno	Q_c	(kg)	$Q_c = q_c \times h_c$
Peso total de carga por barreno	Q_{tot}	(kg)	$Q_{tot} = Q_f + Q_c$
Carga Especifica	F_c	(kg/m ³)	$F_c = \frac{Q_{tot} \times \cos \alpha}{B \times S \times H}$

Figura 15. Fórmulas desarrolladas por Konya (1983) para la carga de explosivo en barreno. Fuente: López. (2003).

(b) Secuencias de voladuras en banco con filas múltiples.

La forma en que se distribuyen los barrenos de una voladura, se considera básicamente a la relación de burden y espaciamiento, así como su directa vinculación con la profundidad. En el diseño de una voladura de banco se puede aplicar diferentes trazos para la perforación, denominándose malla cuadrada, rectangular y triangular (en tres bolillos) o alterna, basándose en la dimensión del *burden*.

En cielo abierto para la voladura en una cara libre, se debe seguir ciertos criterios:

- Cada carga debe disponer de una cara libre en el momento de detonar.
- La relación S/B debe estar comprendida entre 3 y 8 y preferiblemente entre 4 y 7.
- Los barrenos deben estar dispuestos al tresbolillo, con un alto grado de equilibrio «v/w ≈ 1».

- Las filas con el mismo retardo deben formar un ángulo «8» entre 90° y 160° y preferiblemente entre 120° y 140°.
- Los ángulos «β» y «γ», que forma la dirección principal del movimiento de la roca con los nuevos frentes libres, deben ser lo mayor posible para evitar las roturas por desgarre en los taludes.

2.6. EQUIPOS UTILIZADOS EN MINERÍA.

Las operaciones básicas en cualquier tipo de mina son tres: perforación arranque, carga y transporte o acarreo.

2.6.1. Equipos de arranque.

El arranque se realiza de tres maneras: con herramientas, con máquinas y con explosivos. Los dos primeros métodos sólo son rentables cuando las rocas a explotar son relativamente blandas, tales como el carbón o los fosfatos. Cuando las rocas son duras es necesario acudir al arranque mediante explosivos.

En el caso de las rocas ornamentales (mármol, granitos, pizarras) empleadas en arquitectura y construcción se utilizan herramientas de corte de diamante y voladuras muy cuidadosas con muy poca cantidad de explosivo.

(a) Equipos de perforación.

La penetración de la roca se realiza mediante la aplicación de energía mecánica sobre una herramienta, o en algún caso, mediante energía térmica, aunque el avance tecnológico en el diseño y las características de la útiles de acción mecánica prácticamente han eliminado este último sistema.

Los cuatro sistemas pesados de perforación de roca más utilizados son (Diaz 2007):

- Perforación por percusión.
- Perforación por rotación y trituración simultánea (por tricono)
- Perforación por rotación y corte.
- Perforación por rotación abrasiva y corte (sondas con extracción de testigo).

(a.1) Perforación por percusión.

Es el método más común en obras públicas y se usa casi todos los tipos de roca, ya sea utilizando martillos convencionales o martillos de fondo DTH (*Down the hole*); se utilizan dispositivos móviles para su montaje, transporte y operación, que se denomina vagón *drill*.

Los martillos de Fondo (Figura 16) están constituidos por una pieza móvil llamada pistón que es accionada por aire comprimido y que desliza dentro de un cilindro llamado camisa, sus mecanismos recuerdan básicamente a las perforadoras con válvula tubular, el pistón golpea la cabeza transmitiéndole la energía cinética: la velocidad de penetración es independiente de la profundidad. Para este sistema de perforación el martillo se sitúa en el interior del taladro.



Figura 16. Equipo de perforación por percusión. Fuente: Maquinas perforación Atlas Copco. <http://www.directindustry.es/prod/atlas-copco-mining-and-rock-excavation> (julio 2015)

(a.2) Perforación por rotación y trituración simultánea:

Es un método cada vez más desarrollado. En un principio se utilizó en la perforación de pozos petrolíferos y ha sido adaptado casi en exclusiva en obras públicas para las voladuras de canteras de gran cota a cielo abierto y en rocas duras. Son recomendables para rocas con gran carga de rotura. La energía transmitida por la cabeza perforadora, que la recibe a través de las distintas barras de acero. Los

triconos de cabeza, en su impacto y rotación contra la roca, consiguen la trituración de esta (Figura 17).



Figura 17. Equipo de perforación rotativa. Fuente: Maquinas perforación XCMG <http://www.directindustry.es/prod/xuzhou-construction-machinery-group/xcmg-mining-and-rock-excavation>

Se subdivide a su vez en dos grupos (López, 2000), según que la penetración se realice por trituración, empleando triconos o por corte utilizando bocas especiales. El primer sistema se aplica en rocas de dureza media a alta y el segundo en rocas blandas. Los componentes básicos de cualquier sistema de perforación son:

- Una cabeza motriz, que convierte la energía original (eléctrica, neumática, hidráulica, etc.) en energía mecánica que suministra al sistema.
- El varillaje o batería de tubos, que transmite la energía hasta las herramientas de penetración.
- La broca o tricono, que aplica la energía del sistema directamente sobre la roca para lograr su penetración.
- El fluido en circulación que evacua los detritos producidos, refrigera la herramienta y en ocasiones estabiliza las paredes del barreno.

(a.3) Perforación por rotación y corte.

Se ha empleado hasta el presente en rocas blandas hasta una carga de rotura de 1.500 kg/cm^2 . La energía es transmitida por tubos de acero, en cuyo extremo unas plaquitas de metal duro ejercen presión sobre la roca, que se desprende o fragmenta.

(a.4) Perforación por rotación abrasiva y corte.

Normalmente usado cuando se desea obtener un testigo de la roca perforada, lo cual obliga a utilizar útiles huecos. En esta perforación, el testigo se obtiene ya sea en forma de roca pulverizada o por facturación de las columnas de la roca que se perfora.

(b) Equipos de corte con hilo diamantado: (Herrera, 2006).

Los avances de los materiales empleados en la moderna tecnología de corte ha puesto la introducción de hilo diamantado, que permite con menores longitudes de cable en operación, unos rendimientos de corte muy superiores, manteniendo una calidad de acabado similar a la alcanzada con el hilo helicoidal tradicional.

El hilo diamantado (Figura 18) consiste en un cable de acero inoxidable que lleva engarzados, a modo de cuentas de rosario, unos insertos diamantados de forma cilíndrica, con separaciones constituidos por muelle. Actualmente se ha introducido ya la aplicación del cable diamantado en el corte de los granitos, fundamentalmente en los de menor contenido de cuarzo.



Figura 18 El hilo diamantado. Fuente: Herrera (2006).

2.6.2. Equipo de carga.

Los equipos de Carga son muy variados (López, 2000) ya que pueden realizar la carga y acarreo también conocido como sistema continuos y en otros el acarreo es

independiente de la carga o sistema discontinuos del material desde el frente de explotación.

Los equipos más usados para la carga continua tenemos las rotopalas, Minadores y monitores hidráulicos y de carga discontinua los tractores de orugas, excavadoras de cable, excavadoras hidráulicas, palas cargadoras, dragalinas y mototraíllas.

(a) Pala frontal:

Unidades de ruedas o cadenas dotadas de un cucharón en la parte delantera, son equipos muy versátiles, utilizados en funciones de carga y transporte fundamentalmente, tanto en obras públicas como en minería

(b) Retroexcavadora y/o excavadora hidráulicas:

Se denomina pala excavadora a una máquina autopropulsada, sobre neumáticos u orugas, con una estructura capaz de girar al menos 360º (en un sentido y en otro y de forma ininterrumpida) que excava terrenos, o carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de la cuchara, fijada a un conjunto formada por pluma y brazo o balancín sin que la estructura portante o chasis se desplace.

(c) Tractores.

Además de sus otros múltiples usos en los servicios de la mina, los tractores o *bulldozers* pueden ser utilizados en el arranque y empuje del material más superficial hasta el borde del banco en sistema de arranque y transporte. También, como una máquina de arranque, se puede utilizar empleando el *ripper* o escarificador, arrancando y extrayendo las rocas más débiles y superficiales en donde la voladura no fuera necesaria. La distancia límite económica de arranque y arrastre con tractor suele estar en unos 150 metros generalmente.

2.6.3. Equipos de acarreo.

Dentro del conjunto de los equipos de transporte. Estos vehículos pueden clasificarse, según su diseño y modo operativo Portal Minero (2006):

(a) Camión roquero: Son unidades generalmente de dos ejes (uno de dirección y otro motriz) y de tres ejes en los de mayor capacidad o en las unidades pequeñas articuladas (un eje de dirección y dos motrices).

(b) Camión articulado: Vehículo usado para el sector construcción y en la minería, generalmente su fin es el transportar cargas pesadas, usualmente en terrenos difíciles de complejo acceso. Tiene la capacidad de soportar cargas de hasta 40 toneladas de peso, lo que explica su popularidad, ya que posibilita llevar a su destino cargas muy pesadas en un solo viaje.

(c) Camiones de obras civiles: estos son empleados en el sector construcción, pero debido a su versatilidad pueden ser utilizados en la minería se caracterizan por tener una tolva de menor capacidad, existen diversas marcas y modelos en el mercado.

(d) Cintas transportadoras: Es un sistema de transporte formado básicamente por una banda continua que se mueve entre dos o varios tambores.

2.6.4. Maquinaria auxiliar

La flota de equipos que habitualmente se utiliza en las labores de conservación e, incluso, apertura de pistas, está formada por las siguientes máquinas:

(a) Motoniveladoras: Para el extendido de materiales de aportaciones y perfilado de las superficies de rodadura.

(b) Tractores de orugas y ruedas: para la excavación y relleno de zonas muy deterioradas, construcción de nuevas trazados y retirada de grandes piedras.

(c) Aguatero: para eliminar el polvo de las pistas manteniendo el grado de humedad y/o cohesión de los materiales superficiales.

(d) Camiones: Para el transporte de los materiales de aportación.

(e) Excavadora hidráulica: para la preparación de obras de drenaje y desagüe y limpieza de cunetas.

(f) Vehículo todo terreno: para la inspección y supervisión del estado de las pistas.

2.7. ASPECTOS AMBIENTALES Y SEGURIDAD.

El desarrollo de las actividades mineras siempre tienen incidencia sobre el entorno que lo rodea y universalmente se ha desarrollado la conciencia sobre el medio ambiente y el ser humano como parte fundamental, por ende es importante mencionar los aspectos ambientales y de seguridad en el área de explotación minera.

2.7.1. Impacto Ambiental.

El despertar de la conciencia sobre el medio ambiente surge en la década de los setenta como lo referencia López (2000), donde se comenzó a desarrollar una serie de políticas en países más avanzados para prevenir el impacto negativo de muchas actividades económicas que generaban secuelas en el ambiente.

La minería ha venido creciendo por la demanda de materiales para desarrollo tecnológico, industrial entre otros, lo que propicia una mayor demanda pero a la vez una mayor responsabilidad en la explotación.

Para ir de la mano a un desarrollo minero responsable se han realizado estudios y consideraciones a tener en cuenta en la gestión de los recursos minerales que sirven para utilizar de forma eficiente el medio natural, entre ellos se puede citar (López 2000):

(a) Aprovechamiento integral de las materias primas:

Durante el procesamiento y concentración de las menas, se produce un volumen considerable de residuos y estériles, que podrían sustituir, en parte, a los que

actualmente es preciso obtener gran número de explotaciones. Por ejemplo, en la construcción y obras públicas como material de relleno.

(b) Reciclado de material.

Muchos productos después de su uso o consumo, generan importantes cantidades de materiales que pueden reciclarse, por ejemplo como base para el desarrollo de tierra abonada para el desarrollo de la agricultura.

(c) Utilización eficiente de la energía.

Los procesos fabriles e industriales demandan grandes cantidades de energía y en ocasiones presentan unos rendimientos energéticos muy bajos. Además de las medidas de conservaciones de la energía, otro factor es la sustitución de determinados productos por materias cuya elaboración suponga menores consumos específicos de energía.

(d) Explotación racional del yacimiento.

Muchos depósitos albergan minerales con diferentes contenidos de sustancias aprovechables. La aplicación de leyes de corte altas se traduce en la pérdida de minerales pobres o marginales cuyo tratamiento sería viable con procesos más eficientes o condiciones económicas más favorables.

(e) Planificación de abastecimiento de minerales.

La elaboración de planes de abastecimiento a partir de la demanda, alternando las fuentes y modalidades de provisionamiento de los recursos constituye una buena herramienta de gestión para asegurar el suministro de materias primarias, al mismo tiempo que sirven de base para puesta en marcha y ejecución de programas de ordenación minero-ambiental en algunos sectores.

(f) Legislación ambiental

Por último la aplicación de la legislación en materia ambiental y de seguridad afectara a la gestión de los recursos en dos facetas distintas. Primero, se lograra de

una forma directa que los impactos producidos sean menores al aplicarse medidas correctoras sobre las alteraciones de carácter temporal y permanente, y procederse a la recuperación de los terrenos y segundo, al entrar en vigor cierta reglamentación en otros sectores o áreas industriales se producirá unos efectos indirectos claramente beneficiosos al obtener sustancias sustitutivas de la naturales.

La sociedad se propone, los principios rectores y objetivos básicos para alcanzar la protección ambiental, conciliándolo con los aspectos económicos, sociales y de desarrollo. En función de una política enmarcada en leyes y reglamentos. Los Instrumentos de la política ambiental se engloban en (Marnr citado por Durant 1989):

- Recurso humano
- Instrumentos legales
- Instrumentos institucionales
- Instrumentos financieros
- Instrumentos administrativos, incluyendo medidas económicas
- Instrumentos técnicos - científicos
- Instrumentos programáticos o planes y programas.

(g) Política ambiental venezolana.

La República Bolivariana de Venezuela cuenta con un Marco Jurídico para la evaluación ambiental y socio-cultural. El marco legal se rige por la siguiente pirámide de Kelsor (Figura 19):



Figura 19. Orden jerárquico del sistema jurídico venezolano. Fuente: Elaboración Propia.

Referente a sistema jurídico ambiental tenemos:

- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela
- Acuerdos internacionales
- Ley Orgánica del Ambiente (LOA)
- Ley Orgánica de la Administración Pública (LOAP)
- Ley Orgánica de Procedimientos Administrativos (LOPA)
- Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio
- Ley Penal del Ambiente (LPA)
- Ley Forestal de Suelos y de Aguas
- Ley de Protección a la Fauna Silvestre
- Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos
- Otras leyes generales, especiales, reglamentos y decretos.

Entre los artículos podemos citar:

(g.1) Respecto a la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela.

- Derechos ambientales.

Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado, Art. 127.

- Obligaciones estatales.

El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, genética, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia, Art. 127.

- Obligaciones estatales.

Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación,

en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley, Art. 127.

- Política de Ordenación del territorio.

El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento, Art. 128.

Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y socio cultural. El Estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas. Una ley especial regulará el uso, manejo, transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas, Art. 129.

(g.2) Respecto a la Ley Orgánica del Ambiente.

Establece dentro de la política de desarrollo integral de la Nación, los principios rectores para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente en beneficio de la calidad de la vida. Art. 1º.

Declara de utilidad pública y de interés general la gestión ambiente, la cual, entre otros, comprende Arts. 2º, 3º, 4º y 5º.

- La ordenación del territorio y la planificación de los procesos de urbanización, industrialización.
- El aprovechamiento racional de los suelos, aguas.
- La prohibición y corrección de actividades degradantes del ambiente.
- El estímulo a la participación ciudadana.

Establece el control de la Autoridad Nacional Ambiental por parte del Ejecutivo Nacional (Art. 19).

Define la Autoridad Nacional Ambiental (Art. 20). Regula la autorización de las Autoridad Nacional Ambiental (Art.21).

Dispone la compatibilización de dichas autorizaciones con el Plan Nacional de Autoridad Nacional Ambiental (Art. 22).

Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente (Art. 20).

- Las que directa o indirectamente contaminen o deterioren el aire, el agua, etc., o incidan desfavorablemente sobre la fauna o la flora;
- Las alteraciones nocivas a la topografía;
- Las alteraciones nocivas al flujo natural de las aguas;
- La sedimentación de los cursos y depósitos de agua;
- Los cambios nocivos al lecho de las aguas;
- La introducción y utilización de productos o sustancias no biodegradables;
- Las que producen ruidos molestos o nocivos.
- Las que deterioran el paisaje;
- Las que modifiquen el clima;
- Las que produzcan radiaciones ionizantes;
- Las que propenden a la acumulación de residuos, basuras, desechos y desperdicios;
- Las que propenden a la eutroficación de lagos y lagunas;
- Cualesquiera otras actividades capaces de alterar los ecosistemas naturales e incidir negativamente sobre la salud y bienestar del hombre.

(g.3) La Ley Penal del Ambiente.

- Tipifica como delito aquellas conductas contrarias a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente.
- Establece las sanciones penales correspondientes y
- Determina las medidas precautelativas, de restitución y de reparación a que haya lugar

(g.4) El Decreto 1.257. Normas sobre la Evaluación Ambiental de las Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente.

Establecer los procedimientos conforme a los cuales se realizará la evaluación ambiental de las actividades susceptibles de degradar el ambiente, Art. 1º.

Y Establece:

- Los procedimientos relacionados con la ocupación del territorio.
- Participación ciudadana.
- Supervisión Vigilancia y Control Ambiental.
- Consultores Ambientales.

(g.5) Además se tiene las normas técnicas:

- Decreto 883. Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.
- Decreto 638: Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica.
- Decreto 2.673: Normas de Emisiones para Fuentes Móviles.
- Cont.
- Decreto Nº 846. Normas para la Protección de los Morichales.
- Decreto Nº 1.843. Normas para la protección del sistema manglar.
- Decreto 3.220: Normas para Reducir el Consumo de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.
- Resolución 56: Normas sobre recaudos para la evaluación ambiental de programas y proyectos mineros y de exploración y producción de hidrocarburos.

2.7.2. Seguridad.

En función de la seguridad de los trabajadores, se desarrolló la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de trabajo. La ley busca fomentar que el trabajo se adapte a las características de los trabajadores y el personal se engrane en los aspectos organizativos y funcionales de la empresa.

Se cumplan con las normas de seguridad, salud y ergonomía, utilizando los métodos, sistemas o normas estandarizadas: Organización Internacional del Trabajo, Organización Internacional de Normalización, Administración de Seguridad y Salud Ocupacional entre otras.

La disponibilidad de tiempo y las comodidades del trabajador en relación a la alimentación, descanso, esparcimiento, recreación, capacitación técnicas y profesional.

Se controlen las condiciones peligrosas en la fuente u origen, mediante estrategias de control en el medio, controles administrativos y en última instancia, o complementariamente, utilización de equipos de protección personal.

En relación a las actividades mineras, podemos mencionar los siguientes artículos de la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de trabajo (LOPCYMAT):

La Ley establece que las instituciones, normas y lineamientos de las políticas, y los órganos y entes que permitan garantizar a los trabajadores y trabajadoras, condiciones de seguridad, salud y bienestar en un ambiente de trabajo adecuado y propicio para el ejercicio pleno de sus facultades físicas y mentales, mediante la promoción del trabajo seguro y saludable, la prevención de los accidentes de trabajo y las enfermedades ocupacionales, la reparación integral del daño sufrido y la promoción e incentivo al desarrollo de programas para la recreación, utilización del tiempo libre, descanso y turismo social, Art. 1.

Sus disposiciones son aplicables a los trabajos efectuados bajo relación de dependencia por cuenta de un empleador o empleadora, cualquiera sea su naturaleza, el lugar donde se ejecute, persiga o no fines de lucro, sean públicos o privados existentes o que se establezcan en el territorio de la República, y en general toda prestación de servicios personales donde haya patronos o patronas y trabajadores o trabajadoras, sea cual fuere la forma que adopte, salvo las excepciones expresamente instituidas por la ley. Art. 4.

En todo centro de trabajo, empresa o unidad de explotación de las diferentes empresas o de instituciones públicas o privadas, los trabajadores y trabajadoras elegirán delegados o delegadas de prevención, que serán sus representantes ante el Comité de Seguridad y Salud Laboral, mediante los mecanismos democráticos instaurados en la presente Ley, su Reglamento y las convenciones colectivas de trabajo. Mediante Reglamento se constituirá el número de delegados o delegadas de prevención, para lo cual debe tomar en consideración el número de trabajadores y trabajadoras; la organización del trabajo; los turnos de trabajo, áreas, departamentos o ubicación de los espacios físico, así como la peligrosidad de los procesos de trabajo. Art. 41.

En el centro de trabajo, establecimiento o unidad de explotación de las diferentes empresas o de instituciones públicas o privadas, debe constituirse un Comité de Seguridad y Salud Laboral, órgano paritario y colegiado de participación destinado a la consulta regular y periódica de las políticas, programas y actuaciones en materia de seguridad y salud en el trabajo. El Comité estará conformado por los delegados o delegadas de prevención, de una parte y por el empleador o empleadora, o sus representantes en número igual al de los delegados o delegadas de prevención, de la otra. Art. 46.

(a) Derechos de los trabajadores y las trabajadoras (Art. 53).

- Ser informados, con carácter previo al inicio de su actividad, de las condiciones en que ésta se va a desarrollar, de la presencia de sustancias tóxicas en el área de trabajo, de los daños que las mismas puedan causar a su salud, así como los medios o medidas para prevenirlos.
- Rehusarse a trabajar, a alejarse de una condición insegura o a interrumpir una tarea o actividad de trabajo cuando, basándose en su formación y experiencia, tenga motivos razonables para creer que existe un peligro inminente para su salud o para su vida sin que esto pueda ser considerado como abandono de trabajo.

(b) Son deberes de los trabajadores y trabajadoras.

- Ejercer las labores derivadas de su contrato de trabajo con sujeción a las normas de seguridad y salud en el trabajo no sólo en defensa de su propia seguridad y salud sino también con respecto a los demás trabajadores y trabajadoras y en resguardo de las instalaciones donde labora.
- Usar en forma correcta y mantener en buenas condiciones los equipos de protección personal de acuerdo a las instrucciones recibidas dando cuenta inmediata al responsable de su suministro o mantenimiento, de la pérdida, deterioro, vencimiento, o mal funcionamiento de los mismos.
- Acatar las instrucciones, advertencias y enseñanzas que se le impartieren en materia de seguridad y salud en el trabajo.
- Informar de inmediato, cuando tuvieren conocimiento de la existencia de una condición insegura capaz de causar daño a la salud o la vida, propia o de terceros, a las personas involucradas.
- Acatar las pautas impartidas por las supervisoras o supervisores inmediatos a fin de cumplir con las normativas de prevención y condiciones de seguridad manteniendo la armonía y respeto en el trabajo.

(c) Conceptos de higiene y seguridad industrial (Hernández 2005).

Se ha señalado la importancia de la higiene para la conservación de la salud, La metodología de esta ciencia consiste en (Figura 20):

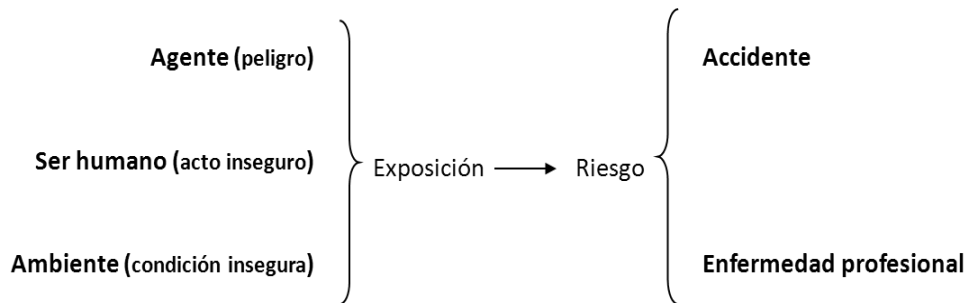


Figura 20. Reconocimiento de los parámetros de riesgo laboral. Fuente: Hernández (2005).

Los conceptos de higiene y seguridad empleados son los siguientes:

- **Riesgo.**

Probabilidad de pérdida y el grado de probabilidad de estas pérdidas.

- **Accidente.**

Suspensión no programada dentro de un proceso.

- **Enfermedad.**

Sucede de acuerdo al tiempo de exposición ya que puede ser una enfermedad repetida o crónica. Se caracterizan por ser progresiva, estados patológicos, lapsos prolongados y es un fenómeno previsible.

- **Enfermedad ocupacional.**

Es toda aquella alteración en la salud de un trabajador originada por el manejo o exposición a agentes químicos, biológicos o lesiones físicas presentes en su lugar de trabajo.

- **Lesión.**

Se puede considerar como un daño repentino.

- **Seguridad e higiene.**

Prevención y reparación del daño.

- **Riesgo en el trabajo.**

Puede producir accidentes y/o enfermedades.

- **Peligro.**

Cualquier condición de la que se pueda esperar con certeza que cause lesiones o daños a la propiedad y/o al medio ambiente y es inherente a las cosas materiales (soluciones químicas) o equipos (aire comprimido, bombas, troqueladoras, entre otras), está relacionado directamente con una condición insegura.

- **Salud.**

Es un estado de bienestar completo: físico, mental y social y no solamente la ausencia de enfermedad o de invalidez (OMS).

- **Higiene.**

Es la disciplina que estudia y determina las medidas para conservar y mejorar la salud, así como para prevenir las enfermedades.

- **Higiene en el trabajo.**

Es la aplicación racional y con inventiva de las técnicas que tienen por objeto el reconocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales que se originan en el lugar de trabajo, que puedan causar enfermedades, prejuicios a la salud e incomodidades entre los trabajadores o miembros de una comunidad.

- **Seguridad.**

Es el conjunto de normas, obras y acciones así como los instrumentos técnicos y legislativos requeridos para proteger la vida humana y la propiedad del hombre de la acción de fenómenos destructivos, tanto de los provocados por la naturaleza como los originados por la actividad humana.

- **Seguridad en el trabajo**

Es la aplicación racional y con inventiva de las técnicas que tienen por objeto el diseño de las instalaciones, equipos, maquinarias, procesos y procedimientos de trabajo; capacitación, adiestramiento, motivación y administración de personal, con

el propósito de abatir la incidencia de accidentes capaces de generar riesgos a la salud, incomodidades e ineficiencias entre los trabajadores o daños económicos a las empresas y consecuentemente a los miembros de la comunidad.

- **Incidente (casi accidente).**

Es un acontecimiento no deseado que bajo circunstancias ligeramente diferentes hubiese dado como resultado una lesión o un daño a la propiedad.

- **Accidente.**

Es un acontecimiento no deseado que tiene por resultado una lesión, enfermedad ocupacional a una persona o un daño a la propiedad.

- **Condiciones inseguras.**

Son las condiciones que únicamente se refieren al medio, es decir, cualquier condición física del medio con una alta probabilidad de provocar un incidente o accidente.

- **Actos inseguros.**

Son las acciones que desarrolla una persona con una alta probabilidad de que suceda un accidente. Son todos aquellos que dan por resultado un peligro.

- **Condiciones de trabajo.**

Son las normas que fijan los requerimientos para la defensa de la salud y la vida de los trabajadores en los establecimientos y lugares de trabajo y las que determinan las prestaciones que deben percibir los seres humanos por su trabajo.

- **Medio ambiente de trabajo.**

Se concibe como las condiciones físicas a aquellas que se encuentran en el lugar de trabajo.

(d) Secuencia del accidente

Para la seguridad en el trabajo, el accidente es un suceso anormal, no querido ni deseado, que rompe la continuidad del trabajo y que puede causar lesión. Un accidente sucede según la siguiente secuencia:

Falla en la administración -> Causas básicas -> Actos o condiciones inseguras -> Incidente Accidente -> consecuencia

(d.1) Condiciones inseguras.

Son las condiciones que únicamente se refieren al medio, es decir, cualquier condición física del medio con una alta probabilidad de provocar un accidente o incidente. Las condiciones inseguras más frecuentes son:

- Estructuras o instalaciones en los edificios y locales impropiedades diseñadas, construidas, instaladas o deterioradas.
- Falta de medidas de prevención y protección.

Para eliminar las condiciones inseguras se recurre a sistemas de seguridad, resguardos de maquinarias, normas de seguridad, protecciones colectivas, señalizaciones, entre otros.

(d.2) Condiciones y actos inseguros

Los actos inseguros son las acciones que desarrolla una persona con una alta probabilidad de que suceda un accidente. Son todos aquellos que dan como resultado un peligro. Los actos inseguros más frecuentes que los trabajadores realizan en el desempeño de sus labores son:

- Llevar a cabo operaciones sin previo adiestramiento.
- Operar los equipos sin autorización.
- Ejecutar el trabajo a la velocidad no indicada.
- Bloquear o quitar dispositivos de seguridad.
- Limpiar, engrasar o reparar la maquinaria cuando se encuentre en movimiento.

(e) Equipos de protección personal.

Estos equipos de protección son de uso obligatorio, dichos implementos están diseñados para minimizar incidentes que perjudiquen la salud del trabajador por un corto lapso de tiempo o permanentemente.

(e.1) Cascos de seguridad. Norma COVENIN 2237-89

Parte del cuerpo que protege: la cabeza, Finalidad: protección a la cabeza por golpes (Figura 21).



Figura 21. Señalización de uso de casco de seguridad. Fuente: Seguridad e higiene laboral. <http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>

(e.2) Lentes de seguridad y otras protecciones de la vista. Norma COVENIN 2237-89.

Parte del cuerpo que protege: los ojos. Finalidad: protección por objetos extraños, partículas, astillas, luz, polvo, entre otros (Figura 22).



Figura 22. Señalización de uso de lentes de seguridad. Fuente: Seguridad e higiene laboral. <http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>

(e.3) Guantes industriales. Norma COVENIN 2237-89.

Parte del cuerpo que protege: las manos. Finalidad: puede tener muchas finalidades, desde proteger las manos cuando se manejan sustancias peligrosas hasta antirresbalantes (Figura 23).



Figura 23. Señalización de uso de guantes de seguridad. Fuente: Seguridad e higiene laboral. <http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>

(e.4) Respiradores. Norma COVENIN 2237-89.

Parte del cuerpo que protege: vías respiratorias. Finalidad: protegen las vías respiratorias de humos, gases, polvos, entre otros, dependiendo del trabajo a realizar (Figura 24).



Figura 24. Señalización de uso de mascarilla. Fuente: Seguridad e higiene laboral. <http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>

(e.5) Tapones y protectores para los oídos. Norma COVENIN 2237-89.

Parte del cuerpo que protege: los oídos. Finalidad: protegen de ruidos mayores de 80 db, en áreas industriales donde la exposición pueda superar las 8 horas diarias (Figura 25).



Figura 25. Señalización de uso de protectores auditivos. Fuente: Seguridad e higiene laboral. <http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO Y DISEÑOS DE EXPLOTACIÓN: EN BASE AL LINDERO DE LA CONCESIÓN MINERA Y LA GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA DE UBICACIÓN DE LA CANTERA CARAYACA.

El presente capítulo se detalla los aspectos metodológicos involucrados en el estudio, se describen: tipo y diseño de la investigación, población y muestra.

Además se define los diseños de explotación en función del lindero y la geomorfología natural del Frente 02 de la Cantera Carayaca, para tres fases de extracción establecidos por la cantera a corto (3 años), mediano (6 años) y a largo plazo (fosa final), el material aprovechable remanente y el material aprovechable en la Cantera en las tres fases mencionadas de extracción y vida útil, los valores técnicos para el desarrollo de: talud mínimo operacional y final; vías de acceso; arranque de material mediante perforación y voladura; y ciclos operativos de los equipos de carga y acarreo de material que permita el cumplimiento de los requerimientos de la empresa.

Se analizan los diseños, basado a los parámetros geométricos, técnicos y valores obtenidos de las operaciones unitarias para su desarrollo. Examinando los modelos obtenidos en las tres fases de extracción para cada opción y finalmente se verifica la mejor opción de producción para el Frente 02 de la Cantera Carayaca.

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

La presente investigación se clasificó como “correlacional”. La misma verificará en base a parámetros técnicos, cual diseño más provechoso para la Cantera Carayaca en el Frente 02 en explotación. La comparación de los diseños en función al lindero y la geomorfología natural de la cantera, se realizará tomando en consideración aspectos relacionados con la forma y estabilidad de taludes y bancos, seguridad y estado de las vías de acarreo y acceso a los distintos niveles, eficiencia de las operaciones mineras y producción, relacionándolos así en los diseños de explotación para cada caso. Los resultados obtenidos, serán contrastados para obtener el diseño de la cantera para largo plazo más ventajoso.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En este trabajo se tiene un diseño “no experimental transeccional”, basando en que se hace la observación directa de las condiciones del Frente 02, enfocado en las características de la zona de explotación, basándose en la topografía, geología estructural, geomorfología y operaciones mineras, en caso de diseño de explotación, enfocado en la producción requerida por la Cantera.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.

Población: Como población de este estudio establece todo el espacio la Cantera de agregados para la construcción.

Muestra: Se establece la muestra en el área del Frente 02 que será afectada por el diseño de explotación.

3.4. TÉCNICAS Y MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Para modelar los diseños de explotación, es necesaria la recopilación de información referente a la Cantera Carayaca, concerniente a aspectos físico naturales, operaciones mineras y producción relacionados con la explotación de agregados para la construcción. Dicha recolección de datos se utilizaran las siguientes técnicas y métodos:

- Recopilación de información bibliográfica sobre la Cantera Carayaca en su Frente 02 de explotación (geológica, topográfica, geomorfología, estructural, ambiental, minera), para un conocimiento global de la cantera.
- Investigación general sobre referencias varias sobre los conceptos necesarios y pertinentes para el diseño de minas a cielo abierto, en especial el empleado en minería de los no metálicos para agregados en la construcción.
- Reuniones con la Gerencia de Planificación y Operaciones Mineras de la Cantera Carayaca, para comprender la condición actual y proyección a largo plazo de la extracción mineral.

- Entrevistas con los operadores de equipos de perforación, carga y acarreo de la Cantera para conocer su opinión sobre aspectos de operación y seguridad de las actividades.
- Calcular la reserva de material aprovechable para la Cantera mediante el uso de hojas de cálculo y dibujo asistido por computadora CAD.
- Determinar los valores necesarios para el patrón de voladura empleando las fórmulas necesarias en un programa de hoja de cálculo.
- Establecer las características técnicas del diseño de explotación para cada opción en sus tres fases.
- Realización de los Diseños de la Cantera en el Frente 02 empleando un programa de dibujo asistido por computadora CAD.

3.5. ANÁLISIS DE LOS DATOS E INTERPRETACIÓN

El análisis e interpretación de la información obtenida, se realiza basado en los parámetros obtenidos mediante un programa de hojas de cálculo, mediante las diversas mediciones para los diseños de explotación. También, se emplea un programa de diseño asistido por computadora CAD, para el desarrollo del plano topográfico actualizado, reserva de material y realización de los diseños respectivos a los avances de explotación a los tres y seis años además del *pit* final, según el límite del lindero y geomorfología del Frente 02 de la Cantera.

3.6. DIAGRAMA DEL PROCESO DE DISEÑO

Las canteras usualmente son diseñadas y explotadas en forma de fosa abierta. Una fosa o *pit* es una excavación realizada desde la superficie del terreno para extraer una mena y permanece a cielo abierto durante la vida de la mina.

El diseño de una mina se realiza en varias etapas, tal cual como se muestran en la Figura 26. Generalmente, se plantea un esquema o conjunto de esquemas u opciones de diseño, para evaluarlas y seleccionar el esquema o modelo óptimo para la mina o cantera en particular.

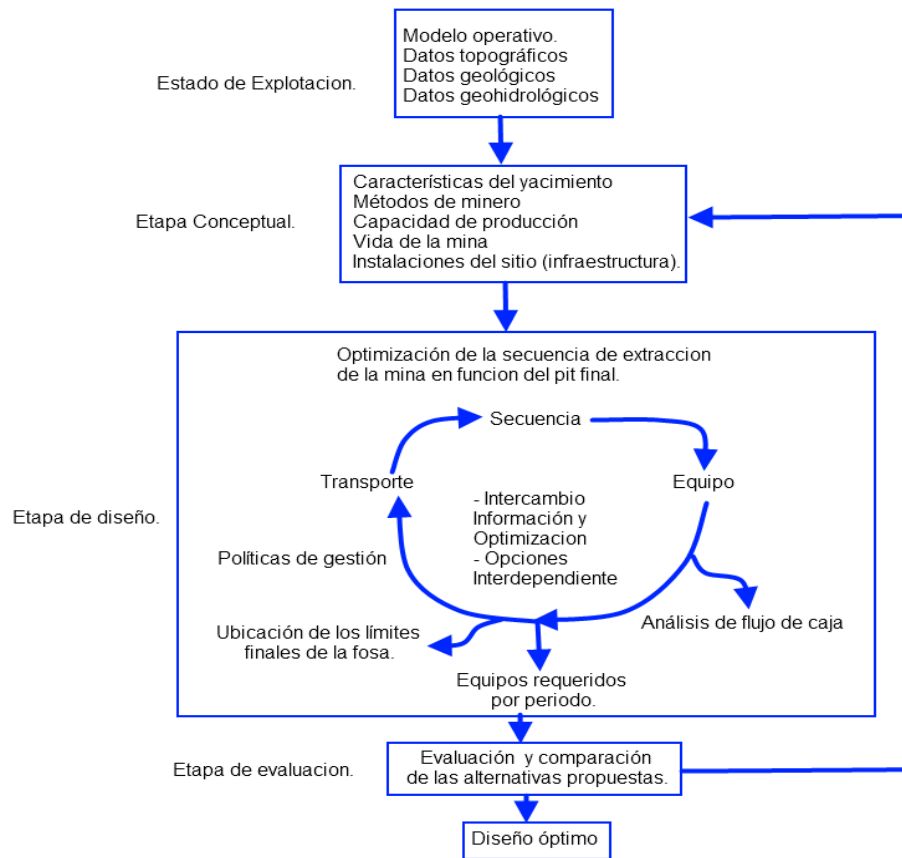


Figura 26. Diagrama del proceso de diseño. Fuente: Modificado de SME (1992)

3.7. DISEÑOS DE EXPLOTACIÓN: EN BASE AL LINDERO DE LA CONCESIÓN MINERA Y LA GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA DE UBICACIÓN DE LA CANTERA CARAYACA.

3.7.1. Opciones de diseño de explotación en el Frente 02 de la Cantera Carayaca.

El Frente 02 de Cantera Carayaca se encuentra ubicado en Tacagua Distrito Capital. Esta área ha sido explotado hace más de 27 años por la empresa (Cantera Tacagua C.A) la cual por medio de un proceso de intervención en función del desarrollo de infraestructura nacional como lo es la Gran Misión Vivienda Venezuela, paso a ser explotada por la Empresa Varguense de Canteras y Minas (VARCAM C.A).

La Cantera posee actualmente el lindero original de la concesión minera (otorgado a la Cantera Tacagua C.A) la cual consta de seis coordenadas UTM, que la delimitan como se observó en la Figura 17, siendo esta la primera opción de desarrollo de un diseño de explotación.

La segunda opción de diseño se planteó en base a la geomorfología natural de la zona, ubicada en la Cordillera de La Costa, fisiográficamente conformada por un relieve accidentado predominado por filas de diversas cotas relativas entre los 790 y 740 m.s.n.m y de topografía abrupta con valle en forma de "V". Estructuralmente la Falla Tacagua (Dextral normal) tiene incidencia generando pequeñas fallas de arrastre y diaclasamiento en el frente de explotación; litológicamente se presenta secuencias estratigráficas de esquistos granatíferos, esquistos cuarzo anfibolíticos y calcáreos además de mármoles y cuarcitas calcáreas y grafitosos, siendo este tipo de roca de buena calidad, competente y dura con un densidad de 2,74 kg/dm³. La presencia del drenaje en el área se manifiesta principalmente en dos quebradas pequeñas intermitentes (en periodo de lluvia y sequia) una a su extremo Sur y otra al Norte del Frente 02, en dirección Oeste - Este que tributan en la quebrada Tacagua. El clima como en toda la zona es Tropical cálido con la estación de lluvia entre los meses de septiembre y noviembre donde se intensifica las lluvias en el sector incrementando la afluencia de los afluentes y una temperatura promedio anual de 24 C°.

Considerando la geomorfología presente, la actividad antrópica por el desarrollo minero y limitaciones jurídicas en la zona, se prolonga solamente el área actual de explotación hacia el Noroeste como se observa en la Figura 18. Esta área permite el desarrollo de la explotación, ya que cuenta con la fisiografía, geología estructural y litología acordes para la extracción mineral y no afecta la quebrada Norte. Hacia otras áreas como la zona Noreste del frente, se ha realizado durante muchos años la acumulación de material sin provecho comercial o estéril y capa vegetal de las zonas

explotadas anteriormente, mientras en el Oeste del área actual de extracción se presenta el lindero del INAVI (actualmente Ministerio del Poder Popular para Vivienda y Hábitat), destinado a un desarrollo habitacional de la Gran Misión Vivienda Venezuela de nombre Ciudad Caribia. Al Sur y el Este encontramos terrenos del Instituto Nacional de Parques (INPARQUES) los cuales están bajo la administración de este instituto y del desarrollo del ecosocialismo nacional.

3.7.2. Material aprovechable en el Frente 02 de la cantera carayaca.

Para el desarrollo del cálculo de material aprovechable en el Frente 02 de la Cantera Carayaca, se utilizó el método de los perfiles ya que este método se ajustaba a la información disponible para realizarlo, se emplea el mapa topográfico suministrado por la Cantera, así como los programas de dibujo asistido por computadora CAD y hoja de cálculo.

(a) Cálculo del material aprovechable en el Frente 02 de la Cantera Carayaca.

Para el cálculo del material aprovechable, se utilizó el método de los perfiles. Con el mapa topográfico de la Cantera y con el empleo de un programa de dibujo asistido CAD, se desarrollaron 20 perfiles en dirección N42°E separados a una distancia de 20 m cada uno, en cada caso enmarcado en el lindero de la Concesión Minera y en la geomorfología natural del Frente 02.

Mediante la regla de Simpson, en cada perfil se establece el área correspondiente, usando como distancia $d = 20$ m (división de cada segmento) y la altura L , lo cual permitió el cálculo utilizando un programa de hoja de cálculo. Ya con el valor del área y el uso de la extensión media entre los perfiles $h/2 = 10$ metros, se obtuvo el volumen del material aprovechable.

(a.1) Cálculo del material aprovechable en el Frente 02 en base al lindero de la Concesión Minera.

Para el cálculo del material aprovechable, se generaron los perfiles limitados por las coordenadas UTM del lindero de la Concesión Minera (Tabla 4), como se muestra en la Figura 27.

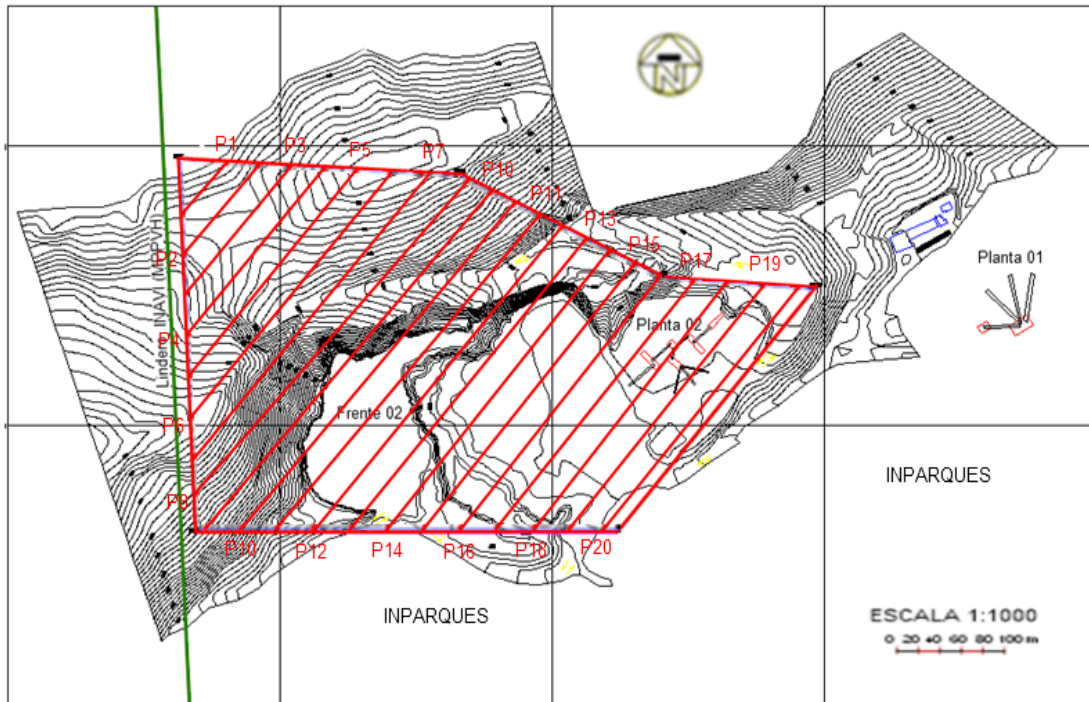


Figura 27. Mapa topográfico con los 20 Perfiles delimitados por el lindero de la Concesión Minera. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Coordenadas UTM del lindero del Frente 02.

Índice	Norte	Este	Longitud	Azimut
CTG-1	1.164.048,13	718.697,02	309,73	269,59
CTG-2	1.164.048,06	718.387,29	268,12	357,31
CTG-3	1.164.315,92	718.375,66	207,18	92,51
CTG-4	1.164.305,60	718.582,58	166,08	116,21
CTG-5	1.164.231,86	718.731,40	113,26	94,02
CTG-6	1.164.223,87	718.844,38	229,35	219,59

Fuente: Cantera Carayaca. C.A.

Se obtuvo un volumen de 1.530.242,95 m³ de material menos el volumen de capa vegetal y material estéril que corresponde a 229.539,44 m³, más el llamado Ripio en el Frente de 41.389,37 m³, quedando un volumen aprovechable de 1.259.317,13 m³, con una tasa anual requerida de 127.200,00 m³, se obtiene 10 años de vida útil en el Frente 02 de la cantera.

(a.2) Cálculo del material aprovechable en el Frente 02 en base a la geomorfología natural del Frente 02 de la Cantera Carayaca

Para el cálculo del material útil, era necesario tomar ciertas consideraciones geomorfológicas basadas en el relieve, la hidrografía y la geología presente, dando que el resultado en la extensión prudente y factible es hacia el Noroeste del Frente 02 en un área de 13.959,86 m², se estable las siguientes coordenadas UTM que delimitan los perfiles (Tabla 5) y se pueden observar en la Figura 28.

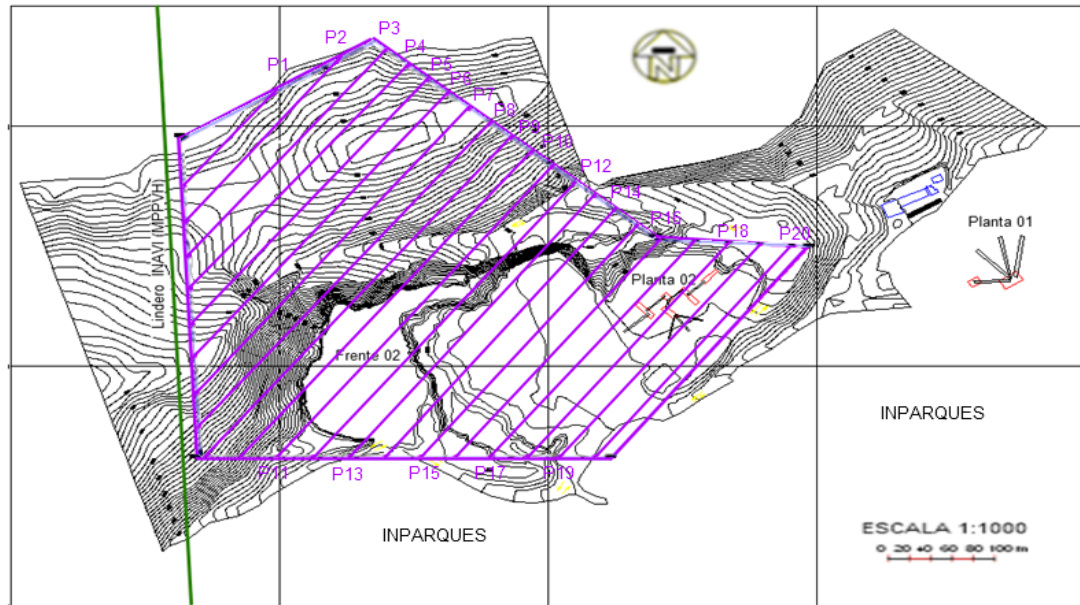


Figura 28. Mapa topográfico con los 20 Perfiles delimitados por la geomorfología natural del Frente 02 de la Cantera Carayaca. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Coordenadas UTM que limitan el perímetro del Frente 02, basado en las características geomorfología natural.

Índice	Norte	Este	Longitud	Azimut
CTG-1	1.164.048,13	718.697,02	309,73	269,59
CTG-2	1.164.048,06	718.387,29	268,12	357,31
CTG-3	1.164.315,92	718.375,66	106,36	92,51
CTG-4	1.164.398,23	718.520,46	268,30	745,50
CTG-5	1.164.231,86	718.731,40	113,26	94,02
CTG-6	1.164.223,87	718.844,38	229,35	219,59

Fuente: Elaboración propia.

El volumen resultante por el método de los perfiles es de 2.050.327,52 m³, salvo el volumen de capa vegetal y material estéril que corresponde a 307.549,13 m³, además de 41.389,37 m³ de ripio depositado en el Frente, quedando un volumen aprovechable de 1.701.389,03 m³, con la rata anual demandada por la cantera, estipula una vida útil de 13 años para el Frente 02.

El área de explotación en base a la geomorfología se incrementa en 13.959,86 m², con un volumen de 442.071,9 m³, 26 % mayor que aquel de material aprovechable en base al lindero. Considerando la producción que se puede desarrollar del Frente 02, la opción de la geomorfología cuenta con 1.211.277 t de material aprovechable más, que en la opción basada en el lindero.

3.8. DISEÑO GEOMÉTRICO DE EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA CARAYACA.

3.8.1. Método de explotación.

El tipo de yacimiento presente en el área de estudio es montañoso, la serranía exhibe un terreno irregular y ciertamente de topografía accidentada, ajustándose a un método de explotación a cielo abierto denominado Cantera, principalmente de agregado para la construcción mediante el arranque por perforación y voladura del material como un todo en uno, para ser procesado en las plantas de tratamiento (procedimiento actual), sin descartar la opción del arranque para uso ornamental

(mármol presente en la cantera) mediante técnicas de corte por perforación con o sin cordón detonante o corte mecánico como el hilo diamantado.

3.8.2. Diseño de banco.

En relación al desarrollo de los bancos se toman ciertos parámetros que permitan el mejor aprovechamiento del material además de las condiciones de seguridad necesarias para las operaciones mineras.

(a) Desarrollo de banco.

Las características de los diseños de bancos propuestos se basan en la información recolectada y tomada en campo para el desarrollo del mismo.

(a.1) Altura de banco.

La altura de banco se determinó estableciendo el equipo de mayor altura de trabajo de la Cantera Carayaca.

La cantera cuenta con dos retroexcavadoras hidráulicas modelos:

- CATERPILLAR 324D L con altura máxima de corte de 9,88 m y profundidad máxima de excavación de 6,58 m.
- XCMG XE230C con altura máxima de corte de 9,67 m y profundidad máxima de excavación de 6,16 m.

Basado en esto, la altura de los bancos en la cantera es de 10 m. Esta altura es ideal para los equipos con los que trabaja la cantera actualmente: las excavadoras CATERPILLAR 324D L y XCMG XE230C que poseen sendas alturas máximas de corte de 9,88 m y 9,67 m y pueden realizar los trabajos carga y de manteniendo en los taludes de trabajo y finales. Además de cumplir con una visión de una cantera al generar alturas de taludes que brinden seguridad para su personal en las labores minera y favorezcan la estabilidad de los bancos.

(a.2) Ángulo de banco.

El ángulo de banco es de suma importancia porque el mismo prevé la estabilidad de los taludes, en especial los taludes finales donde la operación minera de extracción se da como culminada en esa fase. Por los estudios realizados se sabe que el ángulo ideal para la litología presente (calizas esquistosas con intercalaciones de esquistos anfíbolíticos foliados y calizas metamorfizadas) en el Frente 02 está en el rango de 25° a 35° respecto a la vertical.

Para los taludes desarrollados para la cara Oeste o Frente A, que va de la Cota 770 a 655, obtenemos los siguientes ángulos (Figura 29):

- Ángulo de cara de banco: 60°
- Ángulo de geométrico de banco: 50°
- Ángulo de Planificación de banco: 45°
- Ángulo de talud final: 47°

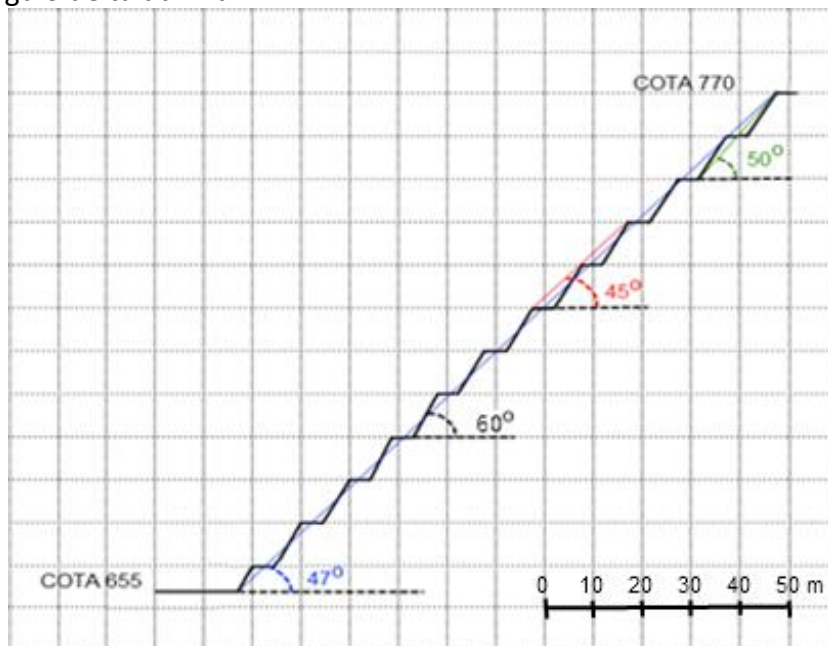


Figura 29. Ángulos para la zona Oeste del Frente 02. Fuente: Elaboración propia

Para los taludes desarrollados para la cara Noroeste o Frente B, que va de la Cota 750 a 655, obtenemos los siguientes ángulos (Figura 30):

- Angulo de cara de banco: 60°
- Angulo de geométrico de banco: 51°
- Angulo de planificación de banco: 45°
- Ángulo de talud final: 49°

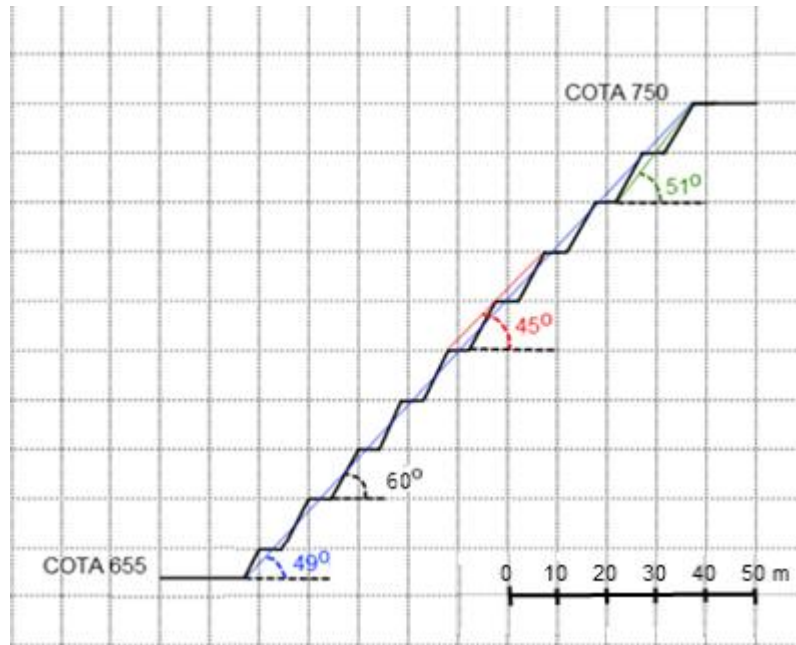


Figura 30. Ángulos para la zona Noreste del Frente 02. Fuente: Elaboración propia.

El ángulo de banco como se mencionó antes, está en el rango entre 25° a 35° respecto a la vertical; en el trabajo de campo se observó que el ángulo 30° con respecto a la vertical predomina en los taludes, además que la roca presenta gran estabilidad, quedando evidenciado en los estudios hechos al material (Tabla 2) y los ensayos realizados en el IMME UCV.

El ángulo de cara de talud general para ambas opciones en base al lindero y la geomorfología es de 60° ; la secuencia de bancos generados en ambos casos muestran dos áreas de banqueo, una secuencia al Oeste que va de la cota 770 a 655 que posee un ángulo geométrico de 50° , el ángulo de trabajo de 45° y un ángulo de talud final de 47° . Mientras que la otra y otra secuencia hacia el Noroeste de la cota

750 a 655 tienen un ángulo geométrico de 51° , el ángulo de planificación de 45° y un ángulo *Overall* de 49° , siendo estos valores similares para toda la cantera.

(a.3) Talud de banco.

Para el desarrollo de las bermas se consideraran dos dimensiones esencialmente. El ancho mínimo operacional de trabajo y el talud final al agotar el material en ese nivel para su cierre paulatino o final de mina.

- **Ancho mínimo de operación.**

Para el ancho mínimo operativo se calculó en base a las dimensiones de los equipos de carga en el frente de trabajo considerando el espaciado mínimo para esta operación. Para esta etapa de trabajo se cuenta con los siguientes equipos de trabajo:

Equipo de carga:

- Retroexcavadora CATERPILLAR 324D L con un radio de giro de carga de 6,5m.
- Retroexcavadora XCMG XE230C con un radio de giro de carga de 6,25m.

Equipo de acarreo:

- Camión Articulado CAT ART D25C con un ancho de 3 m.
- Camión de Carga IVECO Trakker 480 con un ancho de 2,75 m.

Además de los equipos se debe considerar otros aspectos como son la berma de seguridad, las distancia de seguridad y el derrame de material como se observa en la Tabla 6 y Figura 31.

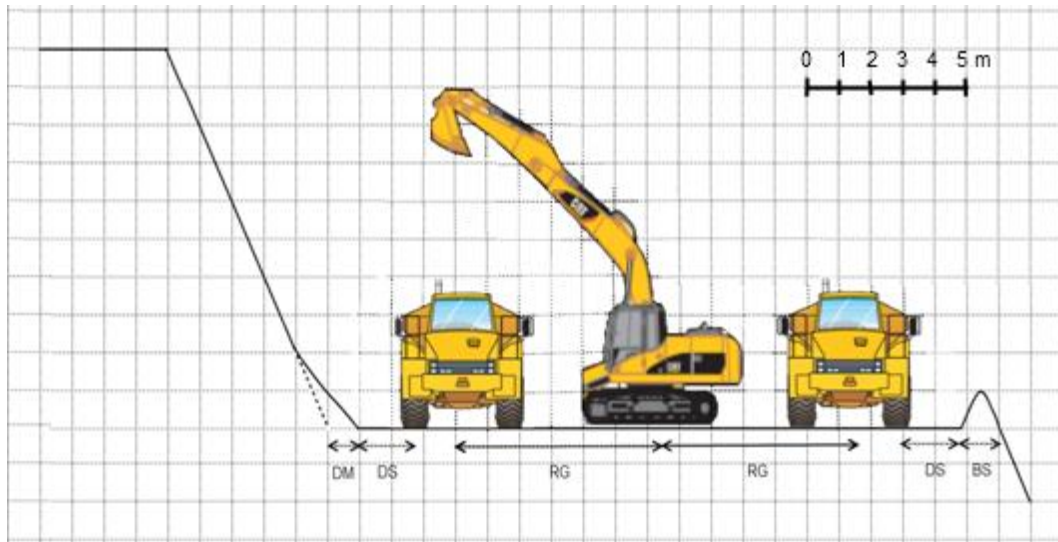


Figura 31. Ancho mínimo de operación. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Valores del ancho mínimo operativo

ANCHO MÍNIMO OPERATIVO	
Berma de seguridad	0,7 m
Ancho del camión	3 m
Distancia de seguridad	1,75 m
Radio de giro de carguío	6,5 m
Derrame de material	1 m
Ancho mínimo operativo	23 m

Fuente: Elaboración propia.

- **Ancho o talud final.**

Para el desarrollo del talud final se considera la estabilidad del mismo basado en las propiedades de la mecánica de la roca siendo está muy competente y estable y la altura establecida de 10 m, se usa la relación $A \geq H/3$ que para taludes de altura $H > 5$ m. Lo cual nos da un ancho de 3,33 m.

Para el desarrollo las áreas de trabajo y las operaciones unitarias, es muy importante conocer los anchos operativos: en especial el ancho mínimo final. Mientras el proceso de extracción de mineral se va desarrollando el área de trabajo es muy variable y por lo general debe ser amplio para las maniobras de carga de equipos con cargadores frontales (cargador BELAZ-7822-1, cargador Caterpillar 980C y

cargador LW800K XCMG) pero en medida que estas áreas disminuyen, es necesario tener el ancho mínimo operativo y los equipos adecuados para esta fase, la excavadora son una buena opción como equipo de carga y los equipos de acarreo presente en la cantera son el camión articulado modelo CAT ART D25C y los camiones de carga IVECO Trakker 480 que se alquilan para trabajos internos, siendo estos los referentes para el valor mínimo de operación es de 23 m. Este ancho permite la carga del material próximo a finalizar una fase de extracción de mineral volado en el área.

Para finalizar, un banco o talud de trabajo con los datos de los estudios de la Cantera realizados sobre la geomecánica de la roca tenemos que: el factor de seguridad 1:03 y 1:08, orienta para tener una altura de 10 m; el ancho final de talud entre 3,3 m pero considerando los equipos en la cantera y sus dimensiones en el caso de trabajos de saneamiento se recomienda usar 4 m de ancho permitiendo estas labores de forma segura.

3.8.3. PISTAS Y RAMPAS.

Para el desarrollo de las pistas en función de optimizar el tránsito de los equipos operativos de la cantera y sobre todo de los equipos de acarreo que están en constante movimiento transportando el material, se realizó el diseño con la capacidad de doble vía y vía simple según sea el caso y fase de explotación con inclinaciones de 5° a 10°.

Tomando las dimensiones de los equipos de acarreo de material presentes en la cantera (camión articulado CAT ART D25C y camiones de carga IVECO Trakker 480), además de las bermas de seguridad, zanja de drenaje, peralte de vía y distancias de seguridad (Figura 32), se tiene que el ancho apropiados para una vía de 8,5 m y para dos vías de 13 m como se observa en la Tabla 7.

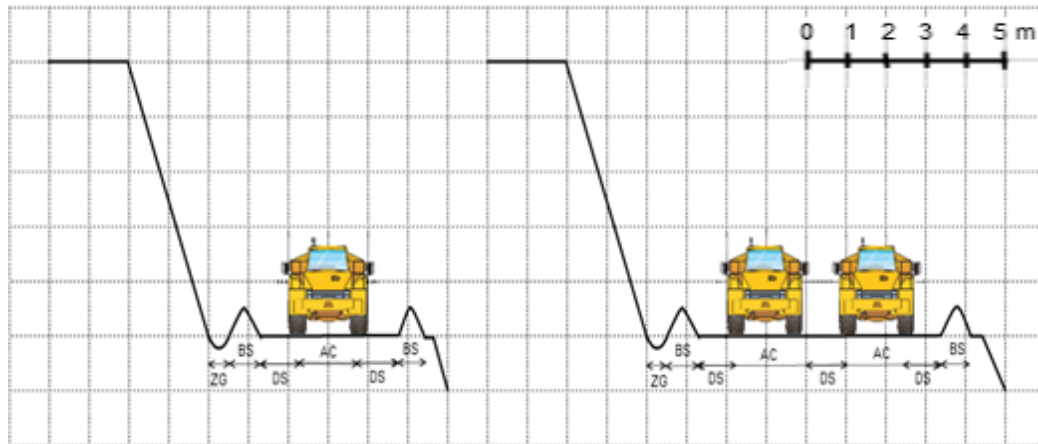


Figura 32. Diseño de vía simple y de doble vía para la Cantera Carayaca. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Valores de la configuración para pista de 1 o 2 vías

CONFIGURACIÓN PARA PISTA DE 1 O 2 VÍAS.		
	1 Vía	2 Vías
Ancho de tránsito	6 m	10,5 m
Ancho de camión	3 m	3 m
Zanja	1 m	1 m
Distancia de seguridad	1,75 m	1,75 m
Berma de seguridad	0,7 m	0,7 m
Numero de vías	1 m	2 m
Ancho total de la pista	8,5 m	13 m

Fuente: Elaboración propia.

Motivado al tránsito de los equipos de acarreo, es más útil el diseño de pistas de doble vía para evitar inconveniente de movilidad. Por las dimensiones de los equipos se obtuvo anchos de seguridad de 1,75 m y las bermas de seguridad con mitad de la altura del caucho de estos equipos más alto, por lo cual la berma tiene una dimensión de 0,7 m de alto por un 0,7 m de ancho, las zanjadas desarrolladas tienen la dimensión de 1 m de ancho por 0,5 m de profundidad dimensiones implementadas en la cantera durante los años anteriores de explotación. Con estas características de pista se obtiene un ancho de 13 m.

El Frente 02 actualmente, posee las vías para transitar de las zona más distante a una cota 770 y más próxima en la cota 660, con inclinaciones entre 5° y 10°, pero con dimensiones arbitrarias entre 6 y 8 m, lo cual es necesario reacondicionar

mediante el uso del tractor CHETRA T-35.01, para ampliar su dimensión y así optimizar el sistema de tiempos operativos de acarreo durante el desarrollo de explotación de la cantera y mejorar su productividad.

3.9. OPERACION UNITARIA DE ARRANQUE DE MATERIAL.

El proceso de arranque de material en la Cantera Carayaca se realiza de forma indirecta con perforación y voladura, aunque, existe un proyecto de arranque de roca para uso ornamental, en la actualidad el proceso de tronadura es el que se implementa.

3.9.1. PERFORACIÓN.

El equipo operativo de perforación, para esta operación minera de barrenado del terreno para la voladura con explosivos de uso industrial, la cantera cuenta con un equipo *Wagon Drill Garner Denver* con una unidad compresora *Garner Denver* modelo 825PCM para realizar la actividad de apoyo y perforación. El ciclo de operación de la perforadora está distribuido de la siguiente forma (Tabla 8):

- Tiempo de posicionamiento.
- Tiempo de perforación (incluido el cambio de barras).
- Tiempo de retorno (incluido el desacople de las barras).
- Tiempo de cambio de posición.

Tabla 8 Tabla de tiempos de ciclos de la perforación.

ACCIÓN	Minutos	Segundos
Posición en el hueco	2	0
Acople y perforación de la 1 barra	3	0
Acople y perforación de la 2 barra	4	50
Acople y perforación de la 3 barra	3	20
Subida y desacople de la 3 barra	1	13
Subida y desacople de la 2 barra		59
Cambio al otro hueco	3	47
Total tiempo de ciclo	19	9

Fuente: Cantera Carayaca (2012).

Estos tiempos son considerados para un ciclo completo de perforación para un total de 11,3 m por barreno.

Los barrenos se realizan con la perforadora Gardner Denver (Figura 33) con martillo en cabeza, Modelo ATD3800 con martillo PR123, usando una broca de 3½", este equipo cuenta con ciclo de 19,9 min por un barreno de 11,3 m de longitud.



Figura 33. Equipo de perforación *Gardner Denver*. Fuente: Cantera Carayaca (2014).

En la cantera se realiza perforaciones verticales en los bancos operativos y con una inclinación de 30° respecto a la vertical para el banqueo final, los ciclos de perforación para bancos con altura de 10 m, son de 19,3 min para barrenos verticales de 11 m de longitud y 21,1 min los barrenos inclinados de longitud de 12 m.

Para el desarrollo del volumen de material requerido por la cantera anualmente, se puede realizar cuatro voladuras cada tres meses, generando un volumen de 31.800 m³ de material suelto en estos lapsos de tiempo.

Un aproximado para obtener este volumen de material se pudiese dar con un patrón de voladura, en una área de 54 x 59 m y una profundidad de 10 m, dando un volumen de 31.860 m³ para la voladura de esta dimensión se necesitaría alrededor de 327 barrenos (espaciamiento y *burden* de 3 m) dando así un tiempo de

perforación de 6.311,1 min o un equivalente de 105,2 hrs de perforación, que se refleja en dos semanas y cuatro días de jornada de trabajo.

3.9.2. VOLADURA.

El material presente en la Cantera Carayaca son mármoles, esquistos y cuarcitas con una densidad de 2,74 t/m³, un ángulo de estabilidad de 30° respecto a la vertical y con la presencia estructural de bloques emplazados a la dirección de la fallas con orientación Rb: N80W; Bz: 40 NE.

Para el desarrollo de la voladura en el Frente 02, es aconsejable detallar las propiedades litológicas y estructurales del material presente referente a su diaclasamiento natural, esto permite considerar el tipo de explosivo a utilizar en la carga de barreno, buscando minimizar la sobre fractura del material y la cantidad de finos, para esto es aconsejable el empleo del explosivo granulado ANFO con un poder de expansión más que de fractura, así logrando el tamaño deseado para alimentar las plantas de tratamiento.

Para obtener el tamaño de material necesario para alimentar a las plantas de tratamiento, se emplea un *burden* de 3 m y utilizando las ecuaciones de Konya se obtuvo los siguientes valores del patrón de voladura, tanto para barrenos operativos verticales y los barrenos finales con una inclinación de 30° con altura de 10 m, como se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores para el patrón de voladura.

Perforación del barreno	Operativo (Vertical)	Final (Inclinación 30°)
Burden (m)	3,00	3,00
Espaciado (m)	3,00	3,00
Taco (m)	3,00	3,00
Sobreperforación (m)	1,00	1,00
Altura (m)	10,00	10,00
Longitud (m)	11,00	12,00

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la carga de explosivo de los barrenos se usan las ecuaciones de Konya (1973) obteniendo los valores de la Tabla 10 y se observa en las Figura 34 la distribución del explosivo en los barrenos.

Tabla 10. Parámetros de carga de voladura

PERFORACIÓN DEL BARRENO	Operativo (Vertical)	Final (Inclinación 30°)
Densidad C.C. Anfo (gr/cm ³)	0,8	0,8
Densidad C.F. Emulsión (gr/cm ³)	1,16	1,16
Concentración carga de columna (kg/m)	4,95	4,95
Altura de columna (m)	8	9
Peso de carga de columna (kg)	39,6	44,55
Concentración carga de fondo (kg/m)	0	0
Altura de fondo (m)	0	0
Peso de carga de fondo (kg)	0	0
Factor de Carga	0,456	0,495

Fuente: Elaboración propia.

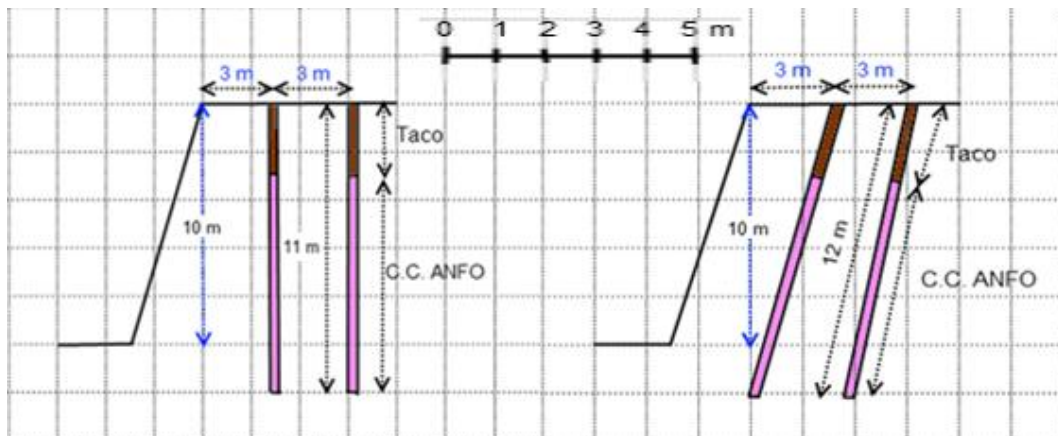


Figura 34. Carga de barreno (taco, carga de columna y carga fondo ANFO y sobre-perforación). Perforación Operativa Vertical y Perforaciones Finales 30°. Fuente: Elaboración propia.

El patrón de voladura se realiza mediante la configuración de tres bolillos, esta distribución se ha desarrollado en la cantera obteniendo buenos resultados al tamaño buscado para la alimentación de las plantas, además de generar el tamaño de gavión el cual tiene una demanda considerable en la cantera. Para las dimensiones del patrón de voladura se utilizan los valores de *burden*, espaciado y taco de 3 m, más una sobreperforación de 1 m; la altura de los barrenos es de 10 m (longitud de perforación vertical e inclinados miden 11 m y 12 m). La altura de

columna mide 8 m para los barrenos verticales y 9 m para barrenos con inclinación, su factor de carga son de 0,45 y 0,49 respectivamente, dichos valores no varían mucho entre ambas cargas.

Para un diámetro 3½" como es el utilizado en la cantera, un saco 20 kg de ANFO llenan 4 m de la longitud del barreno, esto permite saber que para el llenado de 8 y 9 m es necesario 2 y 2 ¼ sacos de ANFO. Esta información es útil para los cálculos de material explosivo indispensable para una voladura de estas dimensiones. Por ejemplo, para la voladura de 327 barrenos de 11 m de longitud, con carga de columna de 8 m y 3 de taco es necesario mínimo 327 *booster*, 654 sacos de ANFO (20 Kg) y los detonadores, conectores y mecha de seguridad en la dimensiones y cantidades necesarias según las distribución de los barrenos en el área y la secuencia de amarre de los mismos.

3.10. OPERACIONES UNITARIAS DEL PROCESO DE CARGA Y ACARREO.

Ya con el material arrancado del frente de explotación, se requiere emplear equipos de carga y acarreo para trasladar la roca volada a los patios de almacenamiento ya sea para comercializarlo como es el caso del gavión o para la alimentación de las plantas de tratamiento. Para este proceso los ciclos operativos tanto de carga como de acarreo son esenciales para mejorar la productividad de la cantera.

3.10.1. Equipos de carga

Esta operación es realizada posterior a la voladura, donde el material es excavado y retirado de los frentes de trabajo, para ser vaciado en equipos de acarreo los cuales llevan el material a las plantas de tratamiento mineral. Los Equipos con que cuenta la Cantera Carayaca son: (figuras 35 y 36)

- Cargador BELAZ-7822-1, año 2010, capacidad del balde de 6 m³.
- Cargador Caterpillar 980C, año 2010, capacidad del balde de 3,1 m³.
- Cargador LW800K XCMG, año 2012, capacidad del balde de 4,5 m³.

- Excavadora Caterpillar 324D L, año 2010, capacidad de balde 2 m³.
- Excavadora XE230C XCMG, año 2012, capacidad de balde 1 m³.



Figura 35. Equipos de carga cargadores frontales. Fuente: Elaboración propia.



Figura. 36 Equipos de carga excavadoras. Fuente: Elaboración Propia.

El rendimiento operativo de los cargadores frontales se observan en la Tabla 11 y el de excavadoras en la Tabla 12. Dicho rendimiento cubre la capacidad de la producción requerida por las plantas y la densidad del material presente ($\rho_{proca} = 2,74 \text{ kg/m}^3$).

Tabla 11 Rendimiento de los cargadores frontales.

CARGADORES FRONTALES SOBRE RUEDAS CANTERA CARAYACA.				
Modelo		CAT 980C	XCMG LW800	BELAZ 7822-1
Capacidad de balde (Cb)	m ³	3,1	4,5	6,0
Ciclo de total de carga (Tc)	Min	2,7	2,1	1,6
Eficiencia horaria (Eh)	min/h	50,0	50,0	50,0
Rendimiento (R = Cb*Eh/Tc)	m ³ /h	57,4	107,1	187,5
Rendimiento operativo (Ro = R* ρ_{proca})	t/h	157,9	294,6	515,6
Horas Efectivas trabajo (He)	h/turno	6,5	6,5	6,5
Rendimiento turno (Rt = Ro*He)	t/turno	1.026,2	1.915,2	3.351,6

Fuente: Cantera Carayaca (2014).

Tabla 12 Rendimiento de las excavadoras.

RETROEXCAVADORAS. CANTERA CARAYACA.			
Modelo		XCMG XE230C	CAT 324D L
Capacidad de balde (Cb)	m³	1,0	2,0
Ciclo de total de carga (Tc)	min	5,9	3,2
Eficiencia horaria (Eh)	min/h	50,0	50,0
Rendimiento (R = Cb*Eh/Tc)	m³/h	8,5	31,3
Rendimiento operativo (Ro = R*proca)	t/h	23,3	85,9
Horas efectivas trabajo (He)	h/turno	7,0	7,0
Rendimiento turno (Rt = Ro*He)	t/turno	163,1	601,6

Fuente: Cantera Carayaca (2014).

Los ciclos de trabajo de los equipos de carga se muestran en la Tabla 13 y la cantidad de pases para llenado de los equipos de acarreo en la Tabla 14, considerando los equipos de acarreo con que cuenta la cantera que poseen una capacidad de 14 y 14,5 m³.

Tabla 13 Tabla de tiempos de ciclos de carga de los equipos.

EQUIPOS DE CARGA (FRONTAL Y RETROEXCAVADORAS)				
Tiempo de carga (minutos)				
CAT 980C	XCMG LW800	BELAZ 7822-1	XCMG XE230C	CAT 324D L
2,7	2,1	1,6	5,9	3,2

Fuente: Cantera Carayaca (2012).

Tabla 14 Tabla de cantidad de pases de los equipos de carga.

EQUIPOS DE CARGA (FRONTAL Y RETROEXCAVADORAS)				
Números de Pases necesarios para los equipos de acarreo (14 y 14,5 m³)				
CAT 980C	XCMG LW800	BELAZ 7822-1	XCMG XE230C	CAT 324D L
5	3	3	14	7

Fuente: Cantera Carayaca (2012).

La Cantera Carayaca cuenta con tres cargadores frontales y dos excavadoras para la carga de material y para el acarreo cuenta con un camión articulado y camiones de carga alquilados para el traslado del material. Al observar los rendimientos de los equipos de carga se puede observar a simple vista que el cargador frontal BELAZ 7822-1, posee mayor eficiencia y rendimiento para la operación de carga, seguido por los cargadores frontales XCMG LW800, CAT 980C y por ultimo las retroexcavadoras CAT 324DL y XCMG XE230C.

Para la operación de carga los mejores equipos son el BELAZ 7822-1 con una capacidad de balde de 6 m³ y el XCMG LW800 con un balde de 4,5 m³; seguidamente la excavadora CAT 324DL con un balde de 2 m³, se hace ideal para escoger y carga el gavión que es un producto muy demandado a la cantera.

3.10.2. Equipos de acarreo

La Cantera Carayaca cuenta con un camión articulado modelo CAT ART D25C y alquila camiones de carga modelo IVECO Trakker 480, los cuales son empleados para transportar el material de los frentes de explotación para las plantas de procesamiento.

En esta operación minera se considera la velocidad de los equipos (Tabla 15) y los tiempos de los equipos de acarreo (carga, descarga, traslado ida y retorno) del material considerando los equipos de carga existentes en la cantera.

Tabla 15 Tabla de velocidad de los equipos de Carga.

Velocidad de los Equipo de Acarreo			
CAT ART D25C (Km/h)		IVECO Trakker 480 (Km/h)	
Cargado	Vacío	Cargado	Vacío
35,0	48,0	40,0	52,0

Fuente: Cantera Carayaca (2014).

Los ciclos de acarreo de material dependen de la distancia del frente de trabajo a las áreas para apilamiento, las distancias más largas poseen un mayor tiempo de recorrido que las más próximas con un tiempo más corto.

Para la carga de material es más beneficioso trabajar con el equipo con mayor rendimiento y eficiencia, como es el cargador frontal BELAZ 7822-1 con una capacidad de balde de 6 m³ y un ciclo de carga de 1,6 min cargando los equipos de acarreo en tres pases.

Los equipos de acarreo de material con que cuenta la cantera, son un camión articulado D25C con una capacidad de 14 m³ y una velocidad promedio entre 35-48

Km/h y el alquiler de camiones de carga IVECO Trakker 480 de capacidad de 14,5 m³ y velocidades entre 40-52 Km/h.

(a) Ciclos de acarreo para el diseño en base al lindero.

Para el diseño de explotación basado en el lindero de la Concesión Minera, se puede discriminar los ciclos de acarreo y flota de camiones necesaria para el acarreo para cada fase de extracción.

En el diseño de explotación del lindero de la Concesión Minera se muestran en sus tres fases de explotación corto (3 años), mediano (6 años) y largo plazo (10 años) para la Planta 01 y Planta 02 de la Cantera Carayaca.

(a.1) La primera fase de extracción a corto plazo.

Para los tres primeros años las distancias desde el frente de extracción en la cota 700, al área de almacenamiento de la Planta 01 son de 3,23 Km y a la Planta 02 es de 1,26 km. Los ciclos de acarreo se observan en las tablas 16 y 17.

Tabla 16 Ciclos a la Planta 01. Diseño en base al lindero a corto plazo (3 Años).

Tiempos de ciclos planta 01. Diseño en base al lindero. 3 Años				
Equipo Carga	CAT ART D25C (Km/h)		IVECO Trakker 480 (Km/h)	
	Ida (min)	Retorno (min)	Ida (min)	Retorno (min)
CAT 980C	8,2	4,4	7,5	4,1
XCMG LW800	7,6	4,4	6,9	4,1
BELAZ 7822-1	7,1	4,4	6,4	4,1
XCMG XE230C	11,4	4,4	10,7	4,1
CAT 324D L	8,7	4,4	8,0	4,1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17 Ciclos a la Planta 02. Diseño en base al lindero a corto plazo (3 Años).

Tiempos de ciclos planta 02. Diseño en base al lindero. 3 Años				
Equipo Carga	CAT ART D25C (Km/h)		IVECO Trakker 480 (Km/h)	
	Ida (min)	Retorno (min)	Ida (min)	Retorno (min)
CAT 980C	4,9	2,0	4,6	1,8
XCMG LW800	4,3	2,0	4,0	1,8
BELAZ 7822-1	3,8	2,0	3,5	1,8
XCMG XE230C	8,1	2,0	7,8	1,8
CAT 324D L	5,4	2,0	5,1	1,8

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar el cargador BELAZ 7822-1, posee mejor rendimiento, por lo cual es el equipo ideal para la carga del material a los camiones que realizan el acarreo, obteniéndose los siguientes ciclos:

Para la Planta 01 la flota de camiones realiza cinco ciclos acarreando un total de 577,5 m³ diarios, volumen acorde al área de apilamiento. La flota está conformada por el camión D25C con un ciclo de 11,5 min y siete camiones IVECO T-480 con ciclos de 10,5 min c/u.

En la planta 02, se realiza ocho ciclos de la flota de camiones, acarreando un total de 576 m³ diarios, volumen conforme al área de almacenamiento. La flota de camiones está compuesta por el camión D25C con un ciclo de 5,8 min y cuatro camiones IVECO T-480 con ciclos de 5,3 min c/u.

(a.2) La segunda fase de extracción a mediano plazo.

Para los tres años consecutivos de la primera fase, las distancias desde el frente de extracción en la cota 670, al área de almacenamiento de la Planta 01 es de 2,7 Km y a la planta 02 es de 0,85 Km. Los ciclos de acarreo de esta fase se muestran en las tablas 18 y 19.

Tabla 18 Ciclos a la Planta 01. Diseño en base al lindero a mediano plazo (6 Años).

Tiempos de ciclos planta 01. Diseño en base al lindero. 6 Años				
Equipo Carga	CAT ART D25C (Km/h)		IVECO Trakker 480 (Km/h)	
	Ida (min)	Retorno (min)	Ida (min)	Retorno (min)
CAT 980C	7,3	3,8	7,5	3,5
XCMG LW800	6,7	3,8	6,9	3,5
BELAZ 7822-1	6,2	3,8	6,4	3,5
XCMG XE230C	10,5	3,8	10,7	3,5
CAT 324D L	7,8	3,8	8,0	3,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19 Ciclos a la Planta 02. Diseño en base al lindero a mediano plazo (6 Años).

Tiempos de ciclos planta 02. Diseño en base al lindero. 6 Años				
Equipo Carga	CAT ART D25C (Km/h)		IVECO Trakker 480 (Km/h)	
	Ida (min)	Retorno (min)	Ida (min)	Retorno (min)
CAT 980C	4,2	1,4	4,0	1,3
XCMG LW800	3,6	1,4	3,4	1,3
BELAZ 7822-1	3,1	1,4	2,9	1,3
XCMG XE230C	7,4	1,4	7,2	1,3
CAT 324D L	4,7	1,4	4,5	1,3

Fuente: Elaboración propia.

El cargador BELAZ 7822-1, posee mejor rendimiento, siendo el equipo principal para la carga del material a los camiones de acarreo, obteniéndose los siguientes ciclos:

Para la Planta 01, la flota de camiones realiza seis ciclos, acarreando un total de 606 m³ volumen acorde al área de almacenamiento. La flota está conformada por seis camiones IVECO T-480 con ciclos de 9,9 min c/u y el camión D25C con un ciclo de 10 min.

A la planta 02, se acarrea un total de 575 m³, volumen acorde al área de almacenamiento, realizado en 10 ciclos de la flota de camiones conformada por tres camiones IVECO T-480 con ciclos de 4,2 min c/u y el camión D25C con un ciclo de 4,5 min.

(a.3) La tercera fase de extracción a largo plazo.

La distancias del frente de extracción en la cota 655, al área de almacenamiento de la Planta 01 es de 1,85 Km. El ciclo de acarreo lo podemos observar en la Tabla 20.

Tabla 20 Ciclos a la Planta 01. Diseño en base al lindero a largo plazo (10 Años).

Tiempos de Ciclos Planta 01. Diseño en base al lindero. 10 Años				
Equipo Carga	CAT ART D25C (Km/h)		IVECO Trakker 480 (Km/h)	
	Ida (min)	Retorno (min)	Ida (min)	Retorno (min)
CAT 980C	5,9	2,7	5,5	2,5
XCMG LW800	5,3	2,7	4,9	2,5
BELAZ 7822-1	4,8	2,7	4,4	2,5
XCMG XE230C	9,1	2,7	8,7	2,5
CAT 324D L	6,4	2,7	6,0	2,5

Fuente: Elaboración propia.

El cargador BELAZ 7822-1, posee mejor rendimiento, siendo el equipo de carga del material a los camiones de acarreo, obteniéndose el siguiente ciclo:

Para la Planta 01, se realiza en siete ciclos de la flota de camiones conformada por el camión D25C con un ciclo de 7,5 min y cinco camiones IVECO T-480 con ciclos de 6,9 min c/u, acarreando un total de 605,5 m³ volumen acorde al área de almacenamiento.

(b) Ciclos de acarreo para el Diseño en base la geomorfología.

En el diseño de explotación basado en la geomorfología natural, se puede observar los ciclos de acarreo y flota de camiones necesaria para el acarreo, en cada fase de extracción.

En este diseño los ciclos de acarreo, se tiene en sus tres fases de explotación corto (3 años), mediano (6 años) y largo plazo (13 años) para la Planta 01 y Planta 02 de la Cantera Carayaca.

(b.1) La primera fase de extracción a corto plazo.

Para los tres primeros años las distancias desde el frente de extracción en la cota 720, al área de almacenamiento de la Planta 01 son de 3,53 Km y a la Planta 02 es de 1,6 km. El ciclo de acarreo se observa en las tablas 21 y 22.

Tabla 21 Ciclos a la Planta 01. Diseño en base la geomorfología a corto plazo (3 Años).

Tiempos de Ciclos Planta 01. Diseño en base la geomorfología. 3 Años				
Equipo Carga	CAT ART D25C (Km/h)		IVECO Trakker 480 (Km/h)	
	Ida (min)	Retorno (min)	Ida (min)	Retorno (min)
CAT 980C	8,8	4,8	8,0	4,4
XCMG LW800	8,2	4,8	7,4	4,4
BELAZ 7822-1	7,7	4,8	6,9	4,4
XCMG XE230C	12,0	4,8	11,2	4,4
CAT 324D L	9,3	4,8	8,5	4,4

Fuente: Elaboración propia..

Tabla 22 Ciclos a la Planta 02. Diseño en base la geomorfología a corto plazo (3 Años).

Tiempos de Ciclos Planta 02. Diseño en base la geomorfología. 3 Años				
Equipo Carga	CAT ART D25C (Km/h)		IVECO Trakker 480 (Km/h)	
	Ida (min)	Retorno (min)	Ida (min)	Retorno (min)
CAT 980C	5,4	2,4	5,1	2,2
XCMG LW800	4,8	2,4	4,5	2,2
BELAZ 7822-1	4,3	2,4	4,0	2,2
XCMG XE230C	8,6	2,4	8,3	2,2
CAT 324D L	5,9	2,4	5,6	2,2

Fuente: Elaboración propia.

El equipo de mejor rendimiento es el cargador BELAZ 7822-1, garantizando la carga más rápida del material a los camiones, obteniéndose los siguientes ciclos con los equipos de acarreo:

Para la Planta 01 la flota de camiones realiza cuatro ciclos acarreando un total de 520 m³ diarios, volumen acorde al área de apilamiento. La flota está formada ocho camiones IVECO T-480 con ciclos de 11,3 min c/u y por el camión D25C con un ciclo de 12,5 min.

En la Planta 02, se realiza ocho ciclos de la flota de camiones, acarreado un total de 576 m³ diarios, volumen conforme al área de almacenamiento. La flota de camiones está configurada por cuatro camiones IVECO T-480 con ciclos de 6,2 min c/u y el camión CAT ART D25C con un ciclo de 6,7 min.

(b.2) La segunda fase de extracción a mediano plazo.

Para los seis años de la explotación, las distancias desde el frente de extracción en la cota 690, al área de almacenamiento de la planta 01 es de 2,86 Km y a la planta 02 es de 0,93 km. El ciclo de acarreo se muestra en las tablas 23 y 24.

Tabla 23 Ciclos a la Planta 01. Diseño en base la geomorfología a mediano plazo (6 Años).

Tiempos de Ciclos Planta 01. Diseño en base la geomorfología. 6 Años				
Equipo Carga	CAT ART D25C (Km/h)		IVECO Trakker 480 (Km/h)	
	Ida (min)	Retorno (min)	Ida (min)	Retorno (min)
CAT 980C	7,6	4,0	7,0	3,7
XCMG LW800	7,0	4,0	6,4	3,7
BELAZ 7822-1	6,5	4,0	5,9	3,7
XCMG XE230C	10,8	4,0	10,2	3,7
CAT 324D L	8,1	4,0	7,5	3,7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24 Ciclos a la Planta 02. Diseño en base la geomorfología a mediano plazo (6 Años).

Tiempos de Ciclos Planta 02. Diseño en base la geomorfología. 6 Años				
Equipo Carga	CAT ART D25C (Km/h)		IVECO Trakker 480 (Km/h)	
	Ida (min)	Retorno (min)	Ida (min)	Retorno (min)
CAT 980C	4,3	1,5	4,1	1,4
XCMG LW800	3,7	1,5	3,5	1,4
BELAZ 7822-1	3,2	1,5	3,0	1,4
XCMG XE230C	7,5	1,5	7,3	1,4
CAT 324D L	4,8	1,5	4,6	1,4

Fuente: Elaboración propia.

El cargador BELAZ 7822-1, posee mejor rendimiento, siendo el equipo principal para la carga del material a los camiones de acarreo, logrando los siguientes ciclos:

Para la planta 01, la flota de camiones realiza cinco ciclos, acarreado un total de 574 m³ volumen acorde al área de almacenamiento. La flota está configurada por el camión D25C con un ciclo de 10,5 min y siete camiones IVECO T-480 con ciclos de 9,6 min c/u.

A la planta 02, se acarrea un total de 575 m³, volumen acorde al área de almacenamiento, realizado en 10 ciclos de la flota de camiones conformada por el camión D25C con un ciclo de 4,7 min y tres camiones IVECO T-480 con ciclos de 4,4 min c/u.

(b.3) La tercera fase de extracción a largo plazo.

La distancias del frente de extracción en la cota 655, al área de almacenamiento de la planta 01 es de 1,85 Km. El ciclo de acarreo se puede observar en la Tabla 25.

Tabla 25 Ciclos a la Planta 01. Diseño en base la geomorfología a largo plazo (13 Años).

Tiempos de ciclos Planta 01. Diseño en base la geomorfología. 13 Años				
Equipo Carga	CAT ART D25C (Km/h)		IVECO Trakker 480 (Km/h)	
	Ida (min)	Retorno (min)	Ida (min)	Retorno (min)
CAT 980C	5,9	2,7	5,5	2,5
XCMG LW800	5,3	2,7	4,9	2,5
BELAZ 7822-1	4,8	2,7	4,4	2,5
XCMG XE230C	9,1	2,7	8,7	2,5
CAT 324D L	6,4	2,7	6,0	2,5

Fuente: Elaboración propia.

El cargador BELAZ 7822-1, por su eficiencia realiza la carga del material a los camiones de acarreo, obteniéndose el siguiente ciclo:

Para la Planta 01, se realiza en siete ciclos de la flota de camiones conformada por cinco camiones IVECO T-480 con ciclos de 6,9 min c/u y el camión D25C con un ciclo de 7,5 min, se acarrea un total de 605,5 m³ volumen acorde al área de almacenamiento.

(c) Carga y acarreo de gavión.

En la Cantera Carayaca existe una demanda considerable de gavión, esta roca se obtiene con la voladura sin necesidad de un procesamiento en planta, el material es seleccionado del frente de trabajo y comercializado. Considerando los diseños de explotación es necesario poseer un área de almacenamiento para este producto con la finalidad de no inferir en los ciclos de acarreo desde el frente de trabajo a las plantas, por el tránsito de los camiones particulares que interferirían con los ciclos de acarreo de la cantera.

Para la selección y carga de este material se trabaja con el equipo con mayor rendimiento y eficiencia: la excavadora CAT 324DL con una capacidad de balde de 2 m³ y un ciclo de carga de 3,2 min.

Dependiendo de la demanda de este material se puede realizar el traslado del volumen necesario al patio de almacenamiento, empleando equipos de acarreo propios de la Cantera, para posteriormente en camiones particulares.

El despacho del gavión desde la zona de almacenamiento se efectúa mediante el uso de la excavadoras XCMG XE230C o en su defecto con el cargador frontal CAT 980C, con un balde de capacidad similar a las excavadoras.

(d) Maquinaria asignada a operaciones auxiliares.

Con la finalidad de aplicar el mantenimiento conveniente a principalmente las vías de acceso, rampas, pilas y los niveles de trabajo en condiciones aptas y seguras, se consideran los siguientes equipos:

- Camión cisterna KODIA para el riego de las vías internas de la cantera hasta la Quebrada Tacagua cubre dicha ruta.
- Camión modelo Cheyenne 3500 acondicionado para el transporte del personal.

- Camión de lubricación de equipos acondicionado para tal fin marca GMC7000 año 1990.
- Tractor de oruga CHETRA T-35.01 para el desmalezamiento de los frentes de explotación.

3.11. DISEÑOS A CORTO, MEDIO Y LARGO PLAZO.

Con el establecimiento de los diseños geométricos, parámetros técnicos y operaciones unitarias se obtienen los diseños de explotación del Frente 02 de la Cantera Carayaca.

Los diseños de explotación en la Cantera, delimitado por el linderos de la concesión minera otorgada por las autoridades correspondientes y la geomorfología natural de la zona, se presentan en tres fases de trabajo estipuladas por la Cantera Carayaca:

- La primera fase del diseño a corto plazo siendo esta la explotación durante 3 años.
- La segunda fase del diseño a mediano plazo, siendo este diseño a los 3 años consecutivos de la primera fase, dando así un lapso de 6 años.
- Y finalmente la tercera fase o largo plazo, siendo esta la fosa final del diseño de la Cantera Carayaca.

3.11.1. Diseños en base al Lindero de la Concesión Minera.

Los diseños generados en las tres fases tomando como base la delimitación del linderos de explotación de la Cantera Carayaca son los siguientes:

(a) Diseño a corto plazo basado en el linderos de la Concesión Minera.

El diseño a corto plazo (Figura 37) se desarrolla en una fase de tres años, realizando las operaciones entre la cota 770 al Oeste y 750 al Noreste hasta la cota 700, obteniendo siete bancos hacia el Oeste que se unen en la cota 710, con los cinco bancos al Noroeste.

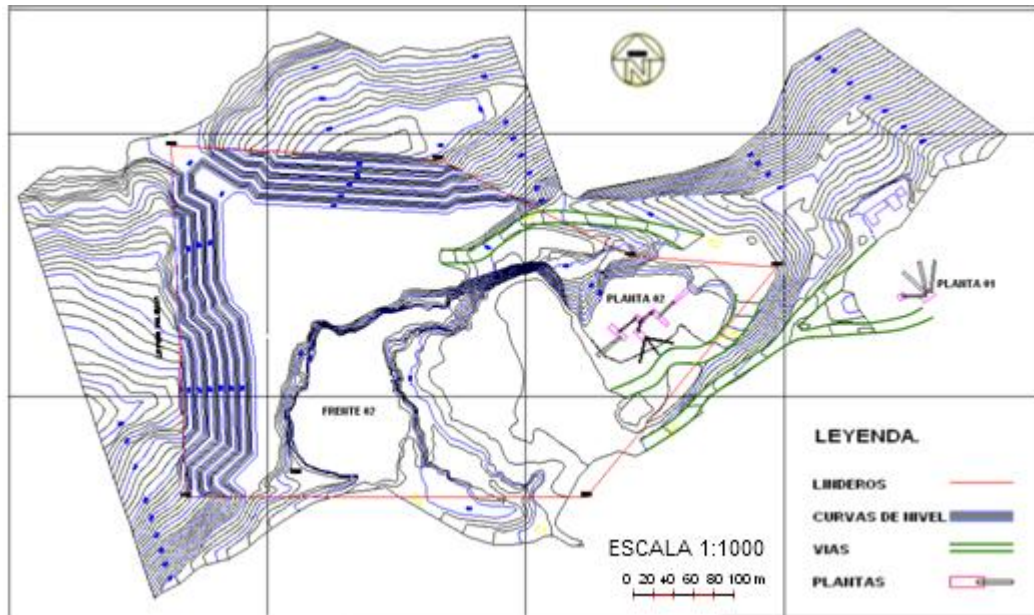


Figura 37. Diseño a Corto Plazo basado en el lindero de la Concesión Minera. Fuente: Elaboración propia.

Los bancos poseen un ángulo de 60° de talud, ancho de 4 m y una altura de 10 m, dichas dimensiones se mantendrán para todo el desarrollo de los bancos en el diseño de explotación. El mismo consta de una vía que comienza del frente de trabajo con una pendiente de 8% a la planta 02 a una distancia de 1,26 Km. que Posteriormente se conecta al otro tramo de la vía desarrollada para la planta 01 a una distancia desde el frente de 3,23 Km con planicies y pendientes de 9° y 10° , en este periodo se extrae un volumen $407.489,90 \text{ m}^3$ de material aprovechable.

(b) Diseño a mediano plazo basado en el lindero de la Concesión Minera.

Para la segunda fase o a los seis años de explotación (Figura 38), se establece tres bancos finales desde (cota 700 a 670). Este diseño cuenta ya con menores distancias de acarreo a las plantas de tratamiento siendo 2,7 y 0,85 Km a la Planta 01 y Planta 02 respectivamente, con un volumen extraído hasta esta fase de $711.804,99 \text{ m}^3$.

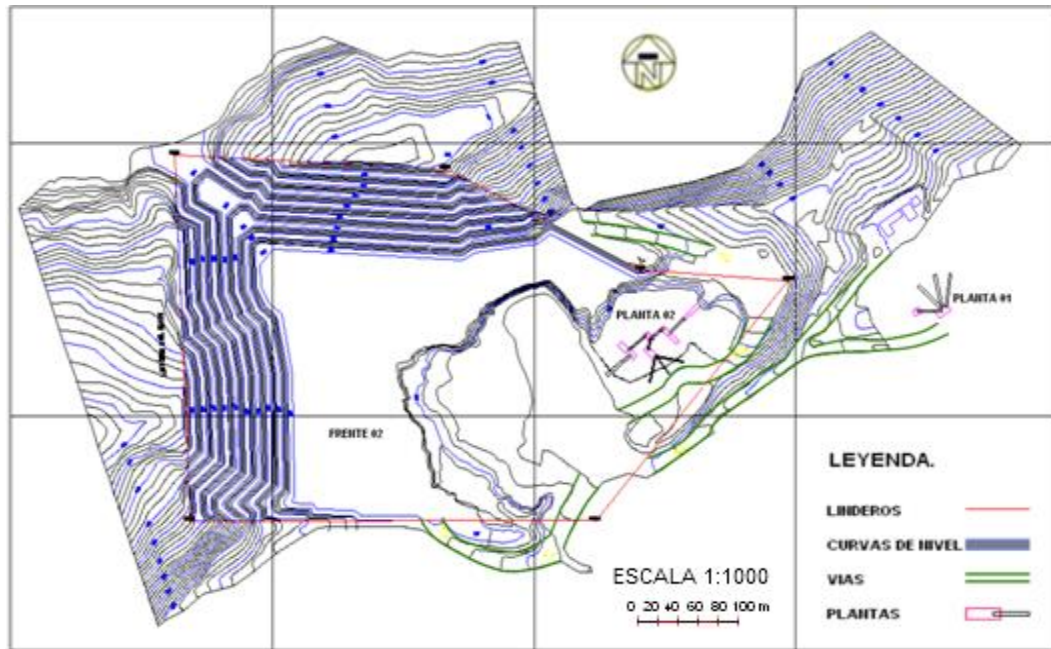


Figura 38. Diseño a mediano plazo basado en el lindero de la Concesión Minera. Fuente: Elaboración propia.

(c) Diseño a largo plazo basado en el lindero de la Concesión Minera.

Ya finalmente el diseño a largo plazo o diseño final (Figura 39), se da en un lapso de siete años, terminando la explotación desde la cota 670 a 655, se presenta la vía de acarreo a la Planta 01 desde una distancia de 1,85 Km del frente de trabajo. Para este periodo la Planta 02 se estima quede sin funcionamiento y sea retirada de su ubicación original para aprovechar el material en esta área, el cual suma un total es $890.358,33 \text{ m}^3$, representando el 69 % del material aprovechable.

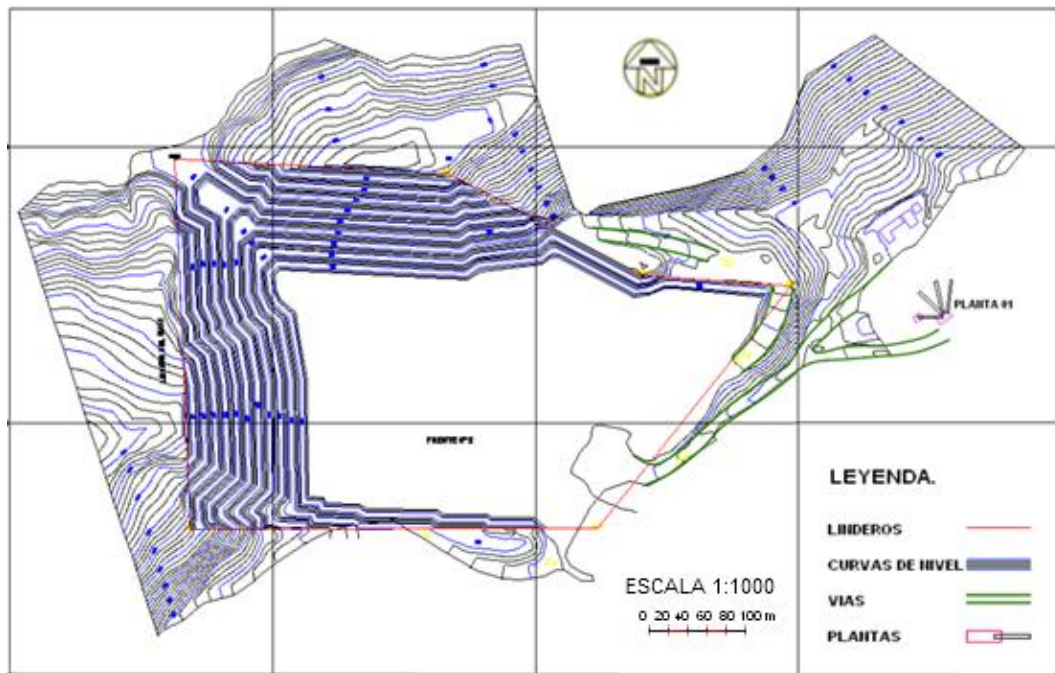


Figura 39. Diseño a largo plazo basado en el lindero de la Concesión Minera. Fuente: Elaboración propia.

3.11.2. Diseños en base a la geomorfología natural.

Los diseños generados en las tres fases tomando como base la delimitación de la geomorfología natural, considerando las propiedades hidrográficas, litológicas y del desarrollo probable en la zona, se obtuvo los siguientes diseños:

(a) Diseño a Corto Plazo basado en la geomorfología natural.

El diseño de explotación basado en la geomorfología natural del Frente 02, se realizó desde las cotas más altas de la topografía del frente siendo estas de 770 al Oeste y 750 al Noroeste del Frente 02, en los primeros tres años de la fase de extracción o diseño a corto plazo (Figura 40), se realiza un banqueo de las cotas mencionadas hasta la cota 710, obteniendo seis bancos hacia el Oeste y cuatro bancos al Noroeste

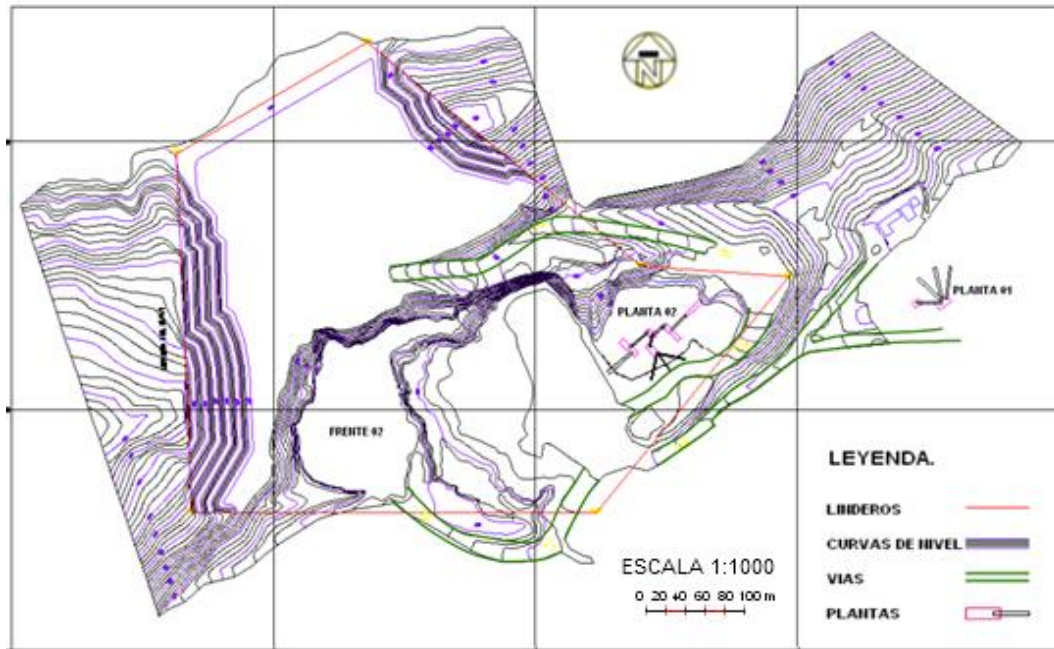


Figura 40. Diseño a corto plazo basado en la geomorfología natural. Fuente: Elaboración propia.

Los bancos están diseñados con un ángulo de 60° de cara de talud, 10 m de altura y un ancho final de 4m, dichos valores se mantendrán para todo el avance del diseño de explotación. Este modelo consta de una vía que recorre del frente de trabajo con una pendiente de 8% hasta la Planta 02 a una distancia de 1,6 km, que se conecta al otro trayecto de la vía desarrollada para la Planta 01 a una distancia desde el frente de 3,53 km con planicies y pendientes de 9° y 10° . Este periodo se extrae un volumen $488.342,83 \text{ m}^3$ de material útil.

(b) Diseño a mediano plazo basado en la geomorfología natural.

Para mediano plazo (Figura 41) se estima dos bancos finales desde la cota 710 a 690, para este periodo las longitudes de acarreo a las plantas de tratamiento han disminuido a 2,86 y 0,93 Km a la Planta 01 y Planta 02 respectivamente, hasta este periodo el volumen extraído es de $792.092,46 \text{ m}^3$.

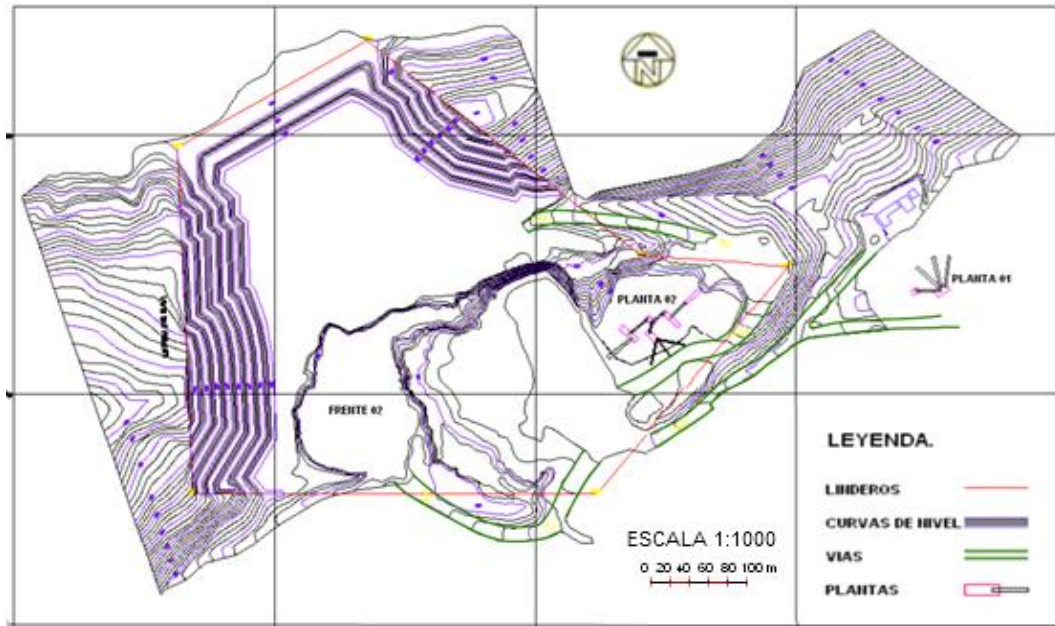


Figura 41. Diseño a mediano plazo basado en la geomorfología natural. Fuente: Elaboración propia.

(c) Diseño a largo plazo basado en la geomorfología natural.

El diseño a largo plazo o *pit* final (Figura 42), se da en un lapso de 11 años, terminando la explotación desde la cota 690 del Frente 02, hasta la cota 655, se presenta la vía de acarreo a la Planta 01 a una distancia de 1,85 Km del frente de trabajo.

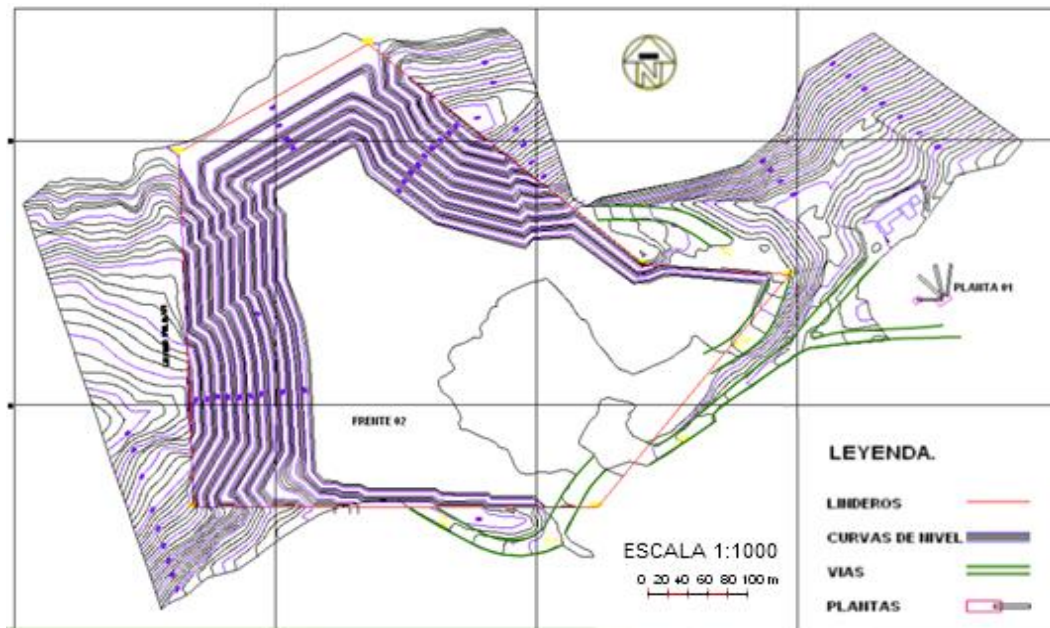


Figura 42. Diseño a Largo Plazo basado en la Geomorfología natural. Fuente: Propia.

Para este periodo la Planta 02 queda sin efecto y es desinstalada para explotar completamente el material, el volumen total extraído es de 1.372.251,733 m³ representando el 81% del material aprovechable.

De los diseños realizados para el Frente 02 de la Cantera Carayaca, se pudo verificar que la hipótesis del diseño basado en la geomorfología natural del Frente 02 es la opción de producción más favorable a desarrollar, que el diseño basado en el lindero de la Concesión Minera, debido a que aumenta la cantidad de material aprovechable en un 26 %, reflejado en 1.211.276,98 t más de material del primero respecto al segundo, además de aumentar su vida útil de la mina en tres años más.

El diseño en base a la geomorfología mejora la producción de material extraíble del frente en un 35,12 %, siendo un volumen de material de 481.893,40 m³ o 1.320.387,93 t mayor que el encontrado para el diseño del lindero de la concesión. La extracción de material se hará en un lapso de 11 a 13 años de la vida útil de la cantera, lo cual generaría así mayor aprovechamiento del área, y de explotación.

El diseño desarrollado según la geomorfología, presenta un *pit* final más favorable para planificar un cierre de minas, ya que presenta un área en la base de la fosa más extensa, que permita constituir edificaciones para el uso educativo, deportivo o recreacional para las comunidades aledañas a esta zona.

3.14. REFLEXIÓN FINAL.

La elaboración de este trabajo, no solo busca la opción más favorable de producción de la cantera, sino también demostrar la importancia del establecimientos de linderos más favorables en el aprovechamiento de los recursos mineros, como indica la Ley de Minas y el Plan de la Patria en pro del cierre de minas, buscando armonizar la topografía final de la explotación con una nueva vocación de uso.

Los resultados demuestran que no solo se beneficia la producción, con un diseño de explotación ajustado a la geomorfología si no a la vez permite promover mejores condiciones de trabajo y seguridad.

También es un punto de partida para la consideración por parte de los empresas mineras, tomar ciertas consideraciones respecto a los límites de explotación y realizar los diseños finales que promuevan las condiciones acordes para un nuevo uso de estas áreas al momento de agotamiento del recurso mineral, que beneficie a las comunidades aledañas evitando la inutilidad de esta zona o un pasivo ambiental.

CONCLUSIONES

El presente trabajo tuvo como objeto verificar la opción de producción más favorable a largo plazo para la Cantera Carayaca, mediante la comparación de dos diseños de explotación: uno en base al lindero de la Concesión Minera y otro según la geomorfología natural de la cantera. Los diseños permitieron establecer las siguientes conclusiones:

- El material aprovechable en el Frente 02, en base al lindero de la concesión minera, es de 1.259.317,13 m³, reflejado en 3.450.528,94 t teniendo así una vida útil de 10 años, en base a la geomorfología natural, tiene un volumen de 1.701.389,03 m³, expresado en 4.661.805,942 t teniendo así una vida útil de 13 años. De ambos valores para el material aprovechable para el Frente 02, la opción de la geomorfología mejora en un 26%, extendiendo el área en 13.959,86 m² generando un volumen de 442.071,9 m³ y 1.211.277 t, alargando la vida útil en 3 años más.
- Para la estabilidad de los bancos en la cantera se diseñan con un ángulo de cara de talud de 60°, una altura de 10m, un ancho mínimo operativo de 23 m y un ancho final de 4 m, siendo estos valores consistentes para mantener la estabilidad de los taludes durante y al final de la explotación.
- El diseño de las vías, en pro mejorar los tiempos de los ciclos de acarreo amerita ampliar las vías ya existentes en la cantera que conectan los frentes de explotación con las plantas de tratamiento a: un ancho de 13 m, pistas de doble vía acondicionadas con su zanja, bermas de seguridad, distancias de seguridad y sus dos vías de ida y retorno.
- La perforación de los barrenos se puede realizar en dos semanas y cuatro días, prácticamente tres semanas de perforación, para un área que generará un volumen de 31.860 m³, un poco más que el necesario para acarrear a las plantas de tratamiento, a ser procesada durante tres meses.
- Por las condiciones físicas de la roca, destacando su diaclasamiento los barrenos pueden ser tronados con la utilización de ANFO sin emulsiones,

iniciando cada uno con un *booster* y conectado según el patrón planteado para la voladura con los detonadores y conectores necesarios.

- El mejor equipo de carga es el cargador frontal BELAZ 7822-1, posee la mayor eficiencia y rendimiento para la operación de carga sobre todos los demás equipos, con un balde de 6 m³ realiza la carga de material en tres pases en un ciclo de 1,6 min.
- El equipo apropiado para los lapsos finales de carga de material, ancho mínimo operativo y ancho final es la retroexcavadora CAT 324DL, con un balde de 2 m³, un ciclo de carga de 3,2 min, con las cualidades de ser ideal para seleccionar la roca con tamaño gavión y realizar el saneamiento de los taludes finales.
- La cantera posee el camión D25C de capacidad de 14 m³ siendo este el equipo de acarreo fijo de la cantera, los demás equipos de acarreo son los camiones IVECO T-480 de capacidad de 14,5 m³, que varían su número en relación a la necesidad y planificación de la cantera, esto beneficia a la Cantera en el desarrollo de sus ciclos de acarreo a las plantas.
- La geomorfología y la característica topografía del área de la Cantera, permite el desarrollo del método de extracción de cantera. Este se hará diseñando un banqueo descendiente, de 12 taludes finales desde la cota 770 a 655 en la zona Oeste conectados a los 10 Taludes desde la cota 750 a 655 en la zona Noroeste, con ángulos finales de 47° y 49° respectivamente.
- El desarrollo de los diseños a corto plazo o en el lapso de tres años, se ve beneficiada la extracción de material en 80.852,93 m³ con el modelo de la geomorfología, extrayendo 221.537,03 t más que el diseño del lindero.
- Durante el lapso de seis años o mediano plazo, el volumen de material extraído entre de la opción de la geomorfología sobre la opción del lindero es de 80.287,47 m³, siendo este 219.987,6678 t más beneficiando notablemente la productividad.

- Finalmente el diseño de la geomorfología es notablemente mejor en muchos aspectos al diseño del lindero. El volumen total de material extraído es mayor en 481.893,40 m³ y la productividad mejora en 1.320.387,924 t, igualmente del tiempo de explotación y aumenta en cuatro años, beneficiando el desarrollo y las fuentes de empleo del personal que trabaja en la cantera.
- La premisa de la opción producción más favorable se cumple con la opción de la geomorfología natural, ya que se extrae el 81% del material aprovechable en la cantera.
- El diseño de la geomorfología natural, mejora la explotación con el aumento del área de explotación en 13.959,86 m² más del área estipulada, dando un total de 106.960 m² o 10,7 Ha de trabajo. Esta zona es factible de ampliar ya que en la actualidad el proceso de intervención en la cantera está vigente y por la Ley de Minas, siendo este un caso con esta peculiaridad de cambio de operador responsable de la explotación, se puede solicitar la modificación de dicha área de extracción.

RECOMENDACIONES

En este trabajo es importante incorporar una serie de recomendaciones que pueden coadyuvar al mejoramiento la producción o beneficio de la explotación de la cantera. Referente al proceso expresado en este informe se menciona lo siguiente:

- Realizar la consulta o estudio legislativo minero, para ampliación del perímetro de explotación del Frente 02 de la Cantera Carayaca, hacia el área recomendada en este estudio habiéndose, demostrado que es la mejor opción de producción.
- De brindarse las condiciones necesarias para un nuevo perímetro de trabajo, implementar el diseño de explotación en base a la geomorfología natural en el Frente 02 de la Cantera; o en su defecto desarrollar la opción en base del lindero de la Concesión, que cuentan con un diseño con los parámetros técnicos para la estabilidad y seguridad del proceso minero.
- Es importante un plan de actualización topográfica trimestral o semestral, que contribuye de forma importante en la planificación, diseño y control de operaciones, además de poseer la topográfica actualizada, permite el cálculo del material remanente en el frente de forma continua.
- Al momento de implementar cualquiera de los diseños, es importante comenzar la extracción desde la parte superior del yacimiento y desarrollar el banqueo de forma descendente, de esta manera asegurar el Frente 02 eliminando existente en la actualidad que dificulta un arranque coherente del material.
- Si se desea incursionar en la extracción de roca ornamental, se recomienda realizar los estudios litológicos, geológicos y estructurales, esto para establecer la ubicación del material idóneo para esta actividad tomando en cuenta su calidad y dimensiones de extensión corroborando su factibilidad de producción y comercialización.

- Referente al arranque del material para agregado para la construcción, se realice la carga de barreno mediante el explosivo granulado ANFO, con las condiciones física. del frente. Esta carga aportará mejores resultados evitando sobre fracturamiento o generación de finos, por el sistema fallado y diaclasado del área, el explosivo granulado es aconsejable encapucharlo en mangas plásticas para evitar su dispersión por estos espacios.
- Sobre los equipos de carga, es importante evaluar los costos de alquiler de los camiones IVECO T-480 y la compra de equipos de acarreo propios de la cantera, cotejando que es más rentable y la posibilidad de invertir en por lo menos en tres equipos de carga con capacidades similares a los de alquiler.
- Con los equipos de la cantera y de todas las operaciones unitarias que se necesitan realizar, sería eficaz colocar como equipos de carga en el frente de trabajo al cargador frontal BELAZ-7822-1 y la retroexcavadora Caterpillar 324D L. Para cargar el material destinado a las pilas pulmón de las plantas y almacén de gavión en la cantera. Para el despacho a los camiones particulares que compran el agregado de las pilas de productos en las plantas, los cargadores frontales LW800K XCMG y Caterpillar 980C, además la retroexcavadora XE230C XCMG para cargar el gavión a los camiones particulares desde el área de almacenamiento de este material. Cabe destacar que sus labores se alternan según los requerimientos y planificación de la cantera.
- Por las labores constantes de los equipos sería interesante crear un cronograma similar al de las plantas de tratamiento, para los equipos móviles y su mantenimiento, para así prever problemas de funcionamiento y prolongar su vida útil.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Atlas Copco, **Perforadora DTH** / multifunción neumática de cadenas. Consulta en línea: <http://www.directindustry.es/prod/atlas-copco-mining-and-rock-excavation>
- Cantera Carayaca. (2012) **Estudio de Impacto Ambiental**. Empresa Varguense de Canteras y Minas. CA. Tacagua. Estado Vargas.
- Cantera Carayaca. (2014) **Plan de explotación Anual**. Empresa Varguense de Canteras y Minas. CA. Tacagua. Estado Vargas.
- Comisión Venezolana de normas industriales Ministerio de fomento. **Ropa, Equipos y dispositivos de protección personal. Selección de acuerdo al riesgo Ocupacional**. NORMA COVENIN 2237-89. Caracas.
- **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela**. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 36.860 del 30 de diciembre de 1999.
- Díaz del Rio, M. (2007). **Manual de maquinaria de construcción**. Editorial Mc Graw Hill, 2da Edición. Madrid. España.
- Duque-Escobar, D. (2014) **Manual de Geología para Ingenieros**. Universidad de Colombia, Colombia, página web de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- Durant, P. (1989), **Creación del Centro de Estudios Ambientales: una vía para integrar la dimensión ambiental a la educación superior**. Mérida: ULA.
- Hernández, F. (2005). **Seguridad e Higiene Industrial**. Editorial Limusa. Ciudad de México, México.
- Hernández, R. y otros (2010) **Metodología de la Investigación**. 5ta Edición. Editorial Mc Graw Hill. México.
- Herrera, J. (2006) **Métodos de minería a cielo abierto**. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Madrid.
- Hustrulid, W (2006). **Open pit mine, planing &desing**. Editorial Taylor&Francis. Volumen 1. Londres. Inglaterra.
- **Ley orgánica del ambiente**, Gaceta Oficial N° 31.004 del 16 de Junio de 1976-
- **Ley penal del ambiente**, Gaceta Oficial N° 39.913 del 02 de mayo de 2012
- López, C. y otros (2003) **Manual de Perforación y Voladura de Rocas.**, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- López, C. y otros (2000) **Recursos Minerales**, Instituto Geominero de España, Madrid.
- Petróleos de Venezuela C.A. Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo. (1999). **Léxico estratigráfico de Venezuela**. 3ª Edición. Venezuela. página web de: <http://www.pdv.com/lexico/>
- Portal Minero S.A. (2006). **Manual General de Minería y Metalurgia**. Chile: Editorial Portal Minero Ediciones.

- Menard, W. (1980) ***Principles of a Resource/Reserve Classification for Minerals*** U.S. Bureau of Mines y el U. S. Geological Survey (USA), Geological survey circular 831, consulta en línea: <http://pubs.usgs.gov/circ/1980/0831/report.pdf>
- Urbani, F. (2002). **Guía de Excursión Geología del Área de la Autopista y Carretera Vieja Caracas - La Guaira, Distrito Capital y Estado Vargas.** Venezuela. UCV. FUNVISIS. INFRASUR.
- Villegas, E. (2006). **Estudio geológico del Abra topográfico de Tacagua y Geotecnia Detallada de los Km 0 al 4 de la Autopista Caracas-La Guaira.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Herness, SK., 1977, ***“Subsurface Representation in Mining Geology,”*** *Subsurface Geology, Petroleum, Mining, Construction*, L.W. LeRoy, D.O. LeRoy, y J.W. Raese, eds., Colorado School of Mines, Golden, CO, pp. 529-538.
- Seguridad e higiene laboral. **Señalizaciones de Seguridad Laboral.**, consulta en línea <http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>. fecha consulta: 18/10/2015.
- *Society of Mining Engineering* (1992). ***“SME Mining Engineering Handbook”***. 2da Edición. Littleton, Colorado, E.E.U.U.
- *Society of Mining Engineering* (1979). ***“SME Open Pit Mine Planning and Design 1979”***. New York, NY, E.E.U.U.
- XCMG, **Perforadora rotativa** / multifunción / hidráulica / de cadenas. Consulta en línea: <http://www.directindustry.es/prod/atlas-copco-mining-and-rock-excavation>.