

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PLAN DE RECUPERACIÓN INTEGRAL DEL TALUD LADO SUR: ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN AMBIENTAL EN LA CANTERA EL MELERO ESTADO MIRANDA

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al Título de Ingeniero de Minas
Por el Br. Delgado Madero, Ronald

Caracas, mayo 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PLAN DE RECUPERACIÓN INTEGRAL DEL TALUD LADO SUR: ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN AMBIENTAL EN LA CANTERA EL MELERO ESTADO MIRANDA

Tutora Académica: Prof. Alba Castillo

Tutor Industrial: Ing. Juan Francisco Arriaga

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al Título de Ingeniero de Minas
Por el Br. Delgado Madero, Ronald

Caracas, mayo 2011

Caracas, Mayo 2011

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 Ronald Delgado Madero titulado:

“PLAN DE RECUPERACIÓN INTEGRAL DEL TALUD LADO SUR: ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN AMBIENTAL EN LA CANTERA EL MELERO ESTADO MIRANDA”

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. Jurado

Prof. Jurado

Prof. Alba J. Castillo

Tutora Académica

Ing. Juan F. Arriaga Delgado

Tutor Industrial

DEDICATORIA

... A mi papa Rolando Delgado, por ser un ejemplo de trabajo incansable y de honestidad, por apoyarme en este largo camino, apoyándome y creyendo en mí...

...A mi mamá Raquel Madero, por enseñarme que la constancia y la responsabilidad son las bases para alcanzar todos los sueños...

...A mi esposa, Yurbiry González, quien me brindó su amor, su cariño, su estímulo y su apoyo constante. Su cariño, comprensión y paciente espera para que pudiera terminar el grado son evidencia de su gran amor. ¡Gracias!...

...A mi hijo, Ricardo Enrique, quien me prestó el tiempo que le pertenecía para terminar este trabajo....

LOS QUIERO....

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, institución que me dio todas las herramientas necesarias para mi crecimiento profesional.

A C.A. Fábrica Nacional de Cementos S.A.C.A, por abrirme las puertas de su empresa para desarrollar mi investigación.

A la Prof. Alba Castillo, por ser mi tutora académica, tener la paciencia, disposición de acompañarme y guiarme en éste trabajo.

Al Ing. Juan Francisco Arriaga quien fue mi tutor industrial y me facilitó el tema de éste trabajo y me brindó su apoyo.

Al Ing. Oswald Marrero, Jefe de Canteras, quien me brindó su apoyo y me dio la oportunidad de hacerme cargo de la cantera.

Al Ing. Juan Aquino, Gerente de Canteras, quien me brindó su apoyo y motivación en esta fase final del proyecto.

A todos los profesores de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica por brindarme los conocimientos que tengo hoy en día...

A los compañeros de estudios y los amigos, quienes me estimularon a la culminación de éste trabajo.

A todos mis compañeros de la Fábrica Nacional de Cementos, en especial a Dámaso, Jorge, Angélica, Palacios, Brikson...

A TODOS MI ETERNO AGRADECIMIENTO

Ronald Delgado Madero.

Delgado M. Ronald

PLAN DE RECUPERACIÓN INTEGRAL DEL TALUD LADO SUR: ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN AMBIENTAL EN LA CANTERA EL MELERO ESTADO MIRANDA

Tutora Académica: Profesora Alba J Castillo. Tutor Industrial: Ing. Juan F. Arriaga D. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2011, 205 p.

Palabras Claves: Escorrentía, Drenajes, Estabilidad de taludes, Plan de revegetación.

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad proponer un plan de recuperación integral del talud lado sur de la cantera El Melero, ubicada en el estado Miranda. Se establecieron los criterios necesarios para planificar la recuperación integral de la zona afectada. Estos fueron, calculo de reservas basado en el diseño geométrico establecido en el aérea norte de la cantera, diseño de drenajes para el manejo de aguas de escorrentías, plan de revegetación y selección de especies vegetales a plantar. Para el cálculo de las reservas se trazaron seis (6) perfiles con dirección N 65 E a través del software *Autocad* 2008 y para la estabilización del talud sur se propone la construcción de seis (6) terrazas y posterior revegetación. El diseño incluye bancos de 10m de altura con inclinación de 76° y bermas de 7,5 m. Los drenajes están conformados por cunetas de secciones transversales triangulares al pie de cada talud y una zanja de coronación de sección transversal rectangular. Las especies vegetales más idóneas que se adaptan a las condiciones de la zona afectada son: especie arbustiva conocida como Vetiver y la especie arbórea conocida como Neem. Con la finalidad de mostrar los avances del proyecto, se realizó el modelaje en tres dimensiones con el software *Argis* y se elaboró un cronograma de trabajo determinado por la producción del área norte de la cantera. Finalmente se realizó la evaluación económica del proyecto a través del análisis de costos unitario.

INDICE

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	x
INTRODUCCION.....	1

CAPITULO I - DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Objetivos de la Investigación.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Alcance.....	6
1.5 Antecedentes de la Investigación.....	7

CAPITULO II - CARACTERIZACIÓN FÍSICO NATURAL Y SOCIAL DEL ÁREA

2.1 Geología Regional.....	10
2.2 Geología Local.....	11
2.3 Aspectos Climatológicos.....	14
2.4 Aspectos Biológicos.....	15
2.4.1 Vegetación.....	15
2.4.2 Fauna.....	16
2.4.3 Suelos.....	17
2.5 Aspectos Socioeconómicos.....	18

CAPITULO III - GENERALIDADES DE LA FÁBRICA NACIONAL DE CEMENTOS (FNC)

3.1 Ubicación.....	20
3.2 Reseña Histórica de la Operadora Minera.....	22
3.3 Patrimonio Minero.....	24
3.4 Filosofía Organizativa de la Operadora Minera.....	25
3.5 Reservas Minerales.....	26
3.6 Operaciones Básicas de Producción.....	28
3.6.1 Perforación.....	28
3.6.2 Operación de Voladura de Roca.....	29
3.6.2.1 Cálculos de la Voladura de Roca.....	30

3.6.3 Carga y Acarreo de Mineral.....	34
3.6.4 Operaciones Auxiliares.....	35
3.6.5 Preparación del Mineral.....	36
3.6.5.1 Área de Almacenamiento Temporal.....	38

CAPITULO IV - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1 Reservas Minerales.....	41
4.1.1 Reservas Probadas.....	41
4.1.2 Reservas Probables.....	41
4.1.3 Reservas Posibles.....	42
4.2. Métodos para Cálculo de Reservas	42
4.2.1 Métodos Clásicos.....	42
4.2.2 Métodos Estadísticos.....	43
4.2.3 Métodos Geoestadísticos.....	43
4.3 Reservas Recuperables.....	43
4.4. Método de Explotación Mineral.....	44
4.5 Manejo de Aguas de Mina.....	46
4.5.1 Tipos de Estructuras de Drenaje.....	46
4.5.2 Caudal de Diseño.....	47
4.5.3 Coeficiente de Escorrentía.....	49
4.5.4 Intensidad de Precipitación.....	50
4.5.5 Período de Retorno.....	51
4.5.6 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).....	51
4.5.7 Diseño de Canal de Escorrentía.....	52
4.6 Usos Potenciales de Terrenos Afectados.....	56
4.7 Aspectos de Revegetación.....	58
4.7.1 Preparación del Terreno para la Revegetación.....	59
4.7.1.1 Reconformación del Terreno.....	62
4.7.1.2 Drenajes.....	62
4.7.1.3 Protección Superficial de Terreno.....	63
4.7.2 Selección de Especies Vegetales.....	63
4.7.2.1 Especies Indicadoras de Características Ambientales.....	65
4.7.2.2 Esquema Metodológico para la Selección de Especies Vegetales.....	65
4.7.3 Métodos de Implantación de la Vegetación.....	67
4.7.3.1 Plantación.....	68
4.7.3.2 Siembra.....	69
4.8 Evaluación Económica del Proyecto de Restauración.....	70
4.8.1 Precios Unitarios.....	72

CAPITULO V - METODOLOGÍA, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Reserva Mineral y Vida Útil.....	80
5.1.1 Determinación de la Reserva Mineral.....	80
5.1.2 Vida Útil de la Cantera.....	80
5.2 Estabilidad de Taludes.....	81
5.3 Diseño de Drenajes.....	91
5.3.1 Diseño de Drenajes.....	92
5.3.2 Cálculo de Descarga de Diseño.....	92
5.4 Precipitación.....	93
5.4.1 Datos de Intensidad de Precipitación	93
5.4.2 Cálculo de las Curvas IDF.....	93
5.4.3 Período de Retorno.....	96
5.4.4 Diseño de Canal de Escorrentía.....	100
5.5 Metodología para La Revegetación.....	105
5.6. Criterios de Selección de Especies para La Revegetación.....	107
5.6.1 Especies Arbóreas.....	109
5.7 Selección de Áreas para La Revegetación.....	114
5.8 Cronograma de revegetación.....	115
5.9 Modelado de los Cambios Topográficos.....	117
5.10 Descripción de los Requerimientos y Ejecución de Obras de Revegetación.	121
5.10.1 Abonos Orgánicos.....	122
5.10.2 Abonos Minerales.....	122
5.10.3 Agua para el Riego.....	123
5.10.4 Tierra Vegetal.....	123
5.10.5 Maquinaria para la Revegetación	123
5.10.6 Ejecución de las Obras.....	124
5.10.6.1 Movimientos de Tierra y Preparación del Terreno.....	124
5.10.6.2 Siembra, Riegos y Abonos Posteriores.	125
5.11 Participación Social en el Proyecto de Revegetación.....	125
5.12 Evaluación Económica del Proyecto.....	126
5.13 Plan de Seguimiento y Control.....	131

CAPITULO VI - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.....	133
6.2 Recomendaciones.....	135
 BIBLIOGRAFIA.....	 138
ANEXOS.....	143

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

3.1. Reservas geológicas de cantera El Melero.....	27
3.2. Parámetros de diseño de explotación de caliza en El Melero.....	30
3.3. Configuración de las variables del patrón de voladura.....	31
3.4. Carga unitaria por barreno en el patrón de voladura, cantera El Melero.....	32
3.5. Consumo anual de explosivos en cantera El Melero.....	33
4.1. Coeficiente de escorrentía.....	50
4.2. Coeficiente de rugosidad típicos para canales.....	54
4.3. Valores máximos de velocidad de flujo para evitar erosión hídrica.....	54
4.4. Consumo de combustible.....	74
4.5. Valores medios del factor de reparación.....	75
4.6. Duración media para los neumáticos.....	76
4.7. Duraciones medias de los elementos de desgaste de maquinarias para movimientos de tierra.....	77
5.1. Valores de intensidad de precipitación (mm).....	94
5.2. Resultados de la determinación de curvas IDF.....	95
5.3. Resultdos de la determinación de curvas IDF.....	96
5.4. Resultados de la determinación de curvas IDF.....	97
5.5. Resultados de la determinación de curvas IDF.....	98
5.6. Resultados de la determinación de curvas IDF.....	99
5.7. Valores de b para diferentes frecuencias	99
5.8. Resultados de parámetros de Gumbel.....	101
5.9. Resultados de la determinación del Caudal (Q)	101
5.10. Resultados de la determinación de la velocidad del agua.....	102

5.11.	Resultados de la determinación de los elementos geométricos para secciones triangulares.....	103
5.12.	Criterios de la selección de la especie vegetal conocida como Orote.....	111
5.13.	Criterios de la selección de la especie vegetal conocida como Apamate.....	112
5.14.	Criterios de la selección de la especie vegetal conocida como Caro.....	112
5.15.	Criterios de la selección de la especie vegetal conocida como Samán.....	113
5.16.	Criterios de la selección de la especie vegetal conocida como Cují Negro...	114
5.17.	Instalación y puesta en marcha del vivero.....	115
5.18.	Movimiento de tierra en el talud sur cantera El Melero.....	116
5.19.	Plantación de especies seleccionadas.....	116
5.20.	Costo de funcionamiento por hora de excavadora Komatsu PC 300.....	128
5.21.	Presupuesto global para la restauración del talud sur cantera El Melero.....	129
5.19.	Costos de las especies vegetales para el plan de revegetación en cantera El Melero.....	128

Figuras

2.1. Cristales de cuarzo embebidos en mármol.....	12
2.2. Mapa geológico de la cantera El Melero.....	14
2.3. Drenajes de la zona en estudio.....	15
3.1. Ubicación cantera El Melero.....	21
3.2. Señalización de la zona estudiada.....	22
3.3. Organigrama de la empresa para el año 2011.....	25
3.4. Perforadora marca Kaishan.....	29
3.5. Carga y acarreo del material a la planta de trituración.....	34
3.6. Diagrama de flujo de la trituradora primaria.....	37
3.7. Diagrama de flujo de la trituradora secundaria.....	37
3.8. Área de almacenamiento temporal.....	38
4.1. Representación del método de los perfiles.....	41
4.2. Parámetros geométricos para el diseño de excavaciones.....	44
4.3. Curva IDF Intensidad-Duración-Frecuencia.....	52
4.4. Sección transversal para canales triangulares.....	56
5.1. Taludes zona norte cantera El Melero.....	82
5.2. Parámetros de diseño de talud para la cantera El Melero.....	84
5.3. Estabilización por conformación de taludes y bermas.....	85
5.4. Actualización topográfica cantera El Melero marzo 2009.....	84
5.5. <i>Pit</i> final año 2011.....	85
5.6. <i>Pit</i> final año 2012.....	86
5.7. <i>Pit</i> final año 2013.....	87
5.8. Curvas de intensidad, duración y frecuencia de la E.M.....	99
5.9. Propuesta de diseño geométrico de canales triangulares.	

Todas las medidas en metros.....	103
5.10. Propuesta de diseño geométrico de zanjas de coronación.	104
5.11. Área propuesta para la ubicación del vivero,	109
5.12. Evolución espontánea de la vegetación	110
5.13. Vista de la cantera El Melero desde el aeropuerto Caracas, 2011.....	115
5.14. <i>Pit</i> Final año 2018.....	119
5.15. Modelaje <i>Pit</i> final 2011 cantera El Melero.....	119
5.16. Modelaje <i>Pit</i> final 2012 cantera El Melero.....	120
5.17. Modelaje <i>Pit</i> Final 2013 cantera El Melero.....	120
5.18. Modelaje <i>Pit</i> Final 2014 cantera El Melero.....	121

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de investigación, propone una planificación para la mitigación ambiental en la Cantera El Melero, considerando la estabilidad del terreno afectado y las condiciones del mismo.

Así mismo, se presentan las condiciones geométricas para estabilizar los taludes, construir los drenajes para mitigar los efectos erosivos y los procedimientos para realizar la revegetación de la zona afectada, todo enmarcado en un cronograma cuyo inicio vendrá dado en función de la estimación de la vida útil de la cantera y será parte del cierre progresivo de mina. Todas estas propuestas deben ser sometidas a un análisis de costos que determinarán su viabilidad.

El Melero, es uno de los yacimientos de caliza que actualmente explota la empresa Fábrica Nacional de Cementos SACA (FNC), para satisfacer la demanda de alimentación de materia prima calcárea para la Planta de Ocumare del Tuy y las diferentes plantas de premezclados del estado Miranda, la cual atiende a la demanda nacional actual. La Cantera El Melero se encuentra ubicada en el municipio Cristóbal Rojas del estado Miranda, aproximadamente a 6,5 Km. al norte de la población de Charallave, al sur del Aeropuerto Caracas; su sistema de explotación es a cielo abierto, con bancos de 10 metros de altura y la pendiente general del talud adoptada para el diseño de la cantera es de 45°.

La recuperación ambiental de una zona que ha sido afectada por la actividad minera, es un proceso lento, debido a que es necesario realizar una integración paisajística, donde las especies a plantar se adapten al nuevo estado del terreno. Para la FNC es un compromiso que va más allá de una obligación legal, y que responde a un decidido enfoque ético en su política empresarial, un compromiso que ya comenzó con la

recuperación de una escombrera buscando la máxima integración paisajística con el entorno natural circundante.

Los conceptos, nociones y factores a estudiar han sido desarrollados en seis capítulos, fundamentales para el tema de la investigación, los cuales se estructuran de la siguiente manera:

Capítulo I: Está referido a la descripción de la investigación, en el cual se desarrollan planteamiento del problema, objetivo general y específicos, justificación, alcance y antecedentes de la investigación.

Capítulo II: Corresponde a la caracterización físico natural y social del área objeto de la investigación; geología regional y local, así como aspectos climatológicos y biológicos de la misma.

Capítulo III: Refiere a generalidades de la Fábrica Nacional de Cementos (FNC), se presenta como marco teórico referencial y toda la información relacionada con la empresa y la cantera donde se desarrolla el estudio.

Capítulo IV: Describe los fundamentos teóricos; en el mismo se desarrollan las teorías más relevantes y actuales, que dan sustentación y fundamentación a la metodología de investigación científico tecnológica y permiten exponer los elementos de estudio.

Capítulo V: Describe la metodología de investigación, permiten exponer y analizar los resultados de esta investigación.

Capítulo VI: Resumen las conclusiones y recomendaciones, donde se emiten los comentarios sobre los resultados más relevantes obtenidos en esta investigación; así como las sugerencias aplicadas a ello.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

El sector de canteras de caliza es muy importante para la economía de un país; ya que esta actividad es catalizadora del sector de la construcción. Así pues, las actividades de las canteras causan impacto al ambiente debido a que se realizan a cielo abierto. Debido a un deslizamiento ocurrido en el talud del lado sur de la cantera El Melero, ubicada en el municipio Cristóbal Rojas, estado Miranda, se generó un pasivo ambiental que en la actualidad se encuentra estable pero, está sometido a la erosión.

Por esta razón, surge la necesidad de recuperar dicho sector e integrarlo al paisaje de la zona; por ello se propone plantear una solución integral a través de un estudio que permita determinar los parámetros geomecánicos para estabilizar el talud, así como diseñar el drenaje para controlar los sedimentos en transporte o susceptibles de estarlo a los fines de recuperarlo y disminuir el impacto visual de la zona. Una adecuada planificación de la restauración supone la integración del aspecto ambiental en el proceso minero desde su misma concepción.

En la explotación de este recurso mineral es imprescindible hacer que las actividades proporcionen rendimiento económico pero, muchas veces se olvidan los requisitos ambientales en esta época cuando la sustentabilidad ecológica es una necesidad humana en pleno proceso de concientización y desarrollo metodológico. En la optimización de la producción debe estar integrado todo lo relacionado a la parte ecológica, económica y social.

Cuando se hace referencia a la explotación de canteras, normalmente se presentan conflictos de diversos intereses. Por un lado la empresa operadora requiere maximizar sus rendimientos; por otro lado la comunidad local solicita no ser molestada, tener un ordenamiento territorial y un medio ambiente sano; el Gobierno Local y Nacional exige el cumplimiento de las regulaciones ambientales y la implementación de un plan de desarrollo en un área específica; y finalmente se encuentra el interés y la obligación legal y ética de proteger la naturaleza e implementar un nivel de desarrollo sostenible. Tratar de integrar todos estos intereses es un gran desafío; en ciertas ocasiones los aspectos ambientales representan el factor crucial que tiene gran influencia sobre los otros factores del desarrollo.

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo General

Formular el plan de recuperación integral del talud lado sur en la cantera El Melero, de las zonas afectadas por la explotación minera, presentando alternativas para mitigar el impacto ambiental.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las variables y parámetros geoambientales que influyen en la estabilidad del talud por movimientos de masa, proceso de erosión y deforestación.
- Estimar los volúmenes de material a remover de acuerdo con las características del talud, cumpliendo con las exigencias técnicas mineras y ambientales.

- Establecer un plan de medidas ambientales que mitiguen y/o corrijan los impactos de la actividad minera.
- Estimar los costos para la ejecución del plan de recuperación.
- Determinar el inicio y cronograma de las actividades de mitigación ambiental, en el lapso de la vida útil de la cantera El Melero.

1.3 Justificación

La Fábrica Nacional de Cementos (FNC) adscrita al Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias está en la obligación de presentar un plan de recuperación del talud del lado sur de la cantera El Melero como exigencia del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, el cual contenga los parámetros de estabilización del talud y las actividades de revegetación de dicha zona.

Es importante destacar y comprender que las actividades mineras inevitablemente ocasionan cambios considerables tanto a la geosfera como a la gente relacionada con ella. Mientras la vida de la cantera tiende a ser relativamente corta, los cambios al ambiente producidos por la cantera probablemente persistirán un largo tiempo. Es por ello que en la planificación minera debemos contemplar las actividades de recuperación ambiental y al momento de diseñar un plan de explotación considerar las siguientes premisas:

- Las reservas minerales comienzan a agotarse con el inicio de la producción mineral con lo cual se inicia el cierre de la mina y el uso temporal minero.
- Los impactos negativos de la minería pueden ser minimizados de forma tal que el resultado neto del proyecto sea positivo.

- La presencia o ausencia de un resultado positivo económicamente factible, está determinado en gran medida por la forma en que el minado es planificado y ejecutado.
- La mejor y más factible forma de conseguir un resultado positivo es empezar por el final, visualizando cómo se desea dejar el territorio explotado y la calidad de los atributos naturales, positiva o negativa.

Para ello es necesario comprender el ciclo de vida de la mina y establecer la simultaneidad entre el plan de recuperación y la explotación para una mejor recuperación de los frentes, con el fin de minimizar los impactos ambientales, obtener menores costos e ir planificando para el cierre de mina.

Es importante destacar, que si no es efectuada de forma planificada la recuperación y cierre de mina desde el comienzo de la explotación y se deja para el final de la vida de la misma, los costos aumentan considerablemente; y las instituciones financieras están requiriendo que las compañías demuestren en su etapa de factibilidad que los pasivos ambientales están definidos completamente y que existen planes de manejo.

1.4 Alcance

Esta investigación abarca una evaluación de las condiciones geoambientales de la cantera El Melero en cuanto a procesos como: el equilibrio límite de estabilidad, la erosión hídrica, la fertilidad agroecológica y la revegetación; y propone una solución geoambiental que incluye estabilización del talud del lado sur, control de erosión, revegetación del área y los costos asociados.

Así mismo cabe destacar, que se establecerá un cronograma para la implementación del plan de recuperación basado en la vida útil de la cantera y los costos asociados a dicho plan.

1.5 Antecedentes de la Investigación

Corniel (2010), en su trabajo titulado “Estudio geológico de la cantera El Melero, ubicada en el municipio Cristóbal Rojas, municipio Charallave, Estado Miranda”, realizado para optar por el Título de Ingeniero Geólogo en la Universidad Central de Venezuela, explica que el objetivo general de esta investigación fue realizar un levantamiento de información con fines de caracterización geológica del yacimiento la cantera El Melero. En el mismo, se realizó un modelo geológico que permitió estimar las reversas del yacimiento y caracterizar litológicamente el área de estudio en el contexto geomorfológico de la Formación Las Mercedes, constituida principalmente por mármol, esquistos calcáreos micáceos y esquistos calcáreos grafitosos.

Blanco (2007), desarrolló la investigación denominada “Propuesta de plan de cierre progresivo de mina en el cuadrilátero ferrífero San Isidro de C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A., Ciudad Piar, Estado Bolívar”, realizado para optar por el Título de Ingeniería de Minas de la Universidad Central de Venezuela. Dicho trabajo tiene como objetivo general proponer el plan de cierre progresivo de mina, el cual consistió en establecer los criterios necesarios la estabilización de taludes, revegetación de áreas agotadas, vinculación de la comunidad en el proceso de planificación para un nuevo cambio de uso en el territorio y principalmente el control del proceso erosión-sedimentación. Adicionalmente se plantearon alternativas para un nuevo uso de la zona afectada.

Lafarge (2007), realizó un “Estudio de impacto ambiental”, cuyo objetivo es asegurar el desarrollo sostenible de la cantera El Melero, induciendo a su crecimiento económico por la orientación positiva sobre el control de la contaminación ambiental. Este estudio analizó las influencias que tienen las actividades mineras sobre los componentes ambientales: suelo, agua, aire, fauna y las comunidades cercanas a la

zona de estudio, dando como resultado la determinación de potenciales impactos. En este orden se diseñaron las medidas de mitigación ambiental correspondientes.

Geoconsulta, C.A. (2005), realizó el informe técnico: “Plan de explotación de la cantera El Melero”, cuyo objetivo es informar la metodología extractiva, niveles de producción y cumplimiento con las exigencias técnicas y ambientales requeridas por autoridades regionales del estado Miranda, con la finalidad de obtener la opinión favorable emitida por MIBAM.

Van Zanten (2004), en su trabajo titulado “Diseño de manejo de aguas de mina, en el Pit Baqueta de la mina Paso Diablo, Estado Zulia, como aporte al desarrollo sustentable de la región”, realizado para optar por el Título de Ingeniería de Minas de la Universidad Central de Venezuela, se planteó como objetivo general, realizar un diseño para el manejo de aguas de mina, en la cuenca carbonífera de Guasare, mediante la canalización, bombeo y disposición eficiente de aguas provenientes de precipitaciones, escorrentías y flujos laterales en el subsuelo, para mejorar la calidad de la gestión ambiental en el sistema de aprovechamiento mineral. De igual manera, propuso la construcción de obras de drenaje para la conducción de aguas de mina y la retención de sólidos en suspensión hídrica. El cual se tomó como referencia metodológica para el diseño de los drenajes en la cantera El Melero.

Valdivieso (2001), en su investigación denominada “Recuperación integral de taludes: seguimiento y control de movimiento de masas, control de pérdida de suelo e integración paisajística, de una zona al noreste del estado Vargas”, realizada para optar por el Título de Ingeniería de Minas de la Universidad Central de Venezuela. El objetivo de este estudio fue establecer los mecanismos de falla, el control de erosión y la alteración de la calidad ambiental de los taludes norte y oeste de una meseta ubicada en el estado Vargas y presentó alternativas para su recuperación integral. La autora llegó a la conclusión que el proceso erosivo en el área de estudio es una de las principales causas de inestabilidad de los taludes, por ello son necesarios los controles

erosivos efectivos y redes de drenajes acordes a la solución geotécnica propuesta. Este estudio representa la investigación más próxima al caso del presente trabajo, por lo cual se toma como referencia metodológica.

Pinilla (1999), en su trabajo de grado titulado “Alternativas para el manejo y disposición de minerales no conformes en el cuadrilátero ferrífero de San Isidro, Estado Bolívar C.V.G. Ferrominera del Orinoco, C.A”, realizado para optar por el Título de Ingeniería de Minas de la Universidad Central de Venezuela, investigó y recomendó prácticas para el control de estabilidad y de erosión hídrica en taludes de depósitos de mineral de hierro no conforme que no cumple con especificaciones del mercado siderúrgico por lo que requiere su disposición temporal, en espera del proceso tecnológico que lo aproveche de manera eficiente. Una de las conclusiones presentadas es que en las prácticas de manejo de minerales no conformes, no se previó la aplicación de medidas de estabilización geotécnica ni de protección ambiental. Como productos de la investigación presentó áreas potenciales para la ubicación de nuevos depósitos y escombreras, definió el tipo de estructura de almacenamiento que mejor se adapta al entorno fisiográfico, capacidad de almacenamiento y comportamiento geotécnico. También realizó la identificación de alteraciones ambientales producidas por botaderos y depósitos existentes, a partir de las cuales, propuso medidas de protección ambiental para estos, sirviendo a su vez para la adecuación de botaderos y depósitos existentes.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN FÍSICO NATURAL Y SOCIAL DEL ÁREA

La zona de estudio, está ubicada geográficamente dentro de la región de la Cordillera de la Costa, situada al norte de Venezuela. La misma es una provincia geológica de rocas meta-ígneas y meta-sedimentarias que corresponden a rocas de origen precámbrico, paleozoico y mesozoico, posteriormente metamorfozadas y ubicadas en posición alóctona en contacto tectónico con unidades del mismo período, sedimentadas al borde del continente suramericano.

2.1 Geología Regional

Explica ampliamente Corniel (2010), que el ordenamiento geológico de la Cordillera de la Costa ha variado en cuanto a su clasificación nominal, fundamentalmente es una variación mejorada de la clasificación tectono-estratigráfica, (1966). La clasificación actual, resultado del trabajo interinstitucional de la Universidad Central de Venezuela (UCV), la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS); y centralizada por la Oficina de Riesgo del Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSB-MARN), arroja el siguiente ordenamiento basado en napas tectónicas:

- 1. Napas de la Serranía del Litoral.**
 - 1.1 Napa Costera.**
 - 1.2 Napa Ávila.**
 - 1.3 Napa Caracas.**

2. Napas de la Serranía del Interior (antes denominada “Napas de Aragua” por Beck 1985).

2.1 Napa Caucagua - El Tinaco.

2.2 Napa Loma de Hierro (Beck, 1985 incluye a Paracotos en esta Napa).

2.3 Napa Villa de Cura.

En el sector de la Serranía del Interior es típico el predominio de la roca esquistosa, grafitosa y calcárea, con esporádicos lentes o bloques de caliza masiva recristalizada e intensamente plegada.

2.2 Geología Local

El conocimiento del marco geológico actual del área de la cantera es el producto de actividades de exploración geológica de superficie iniciadas en el año 1995 por el geólogo Ernesto Alcaíno A. y continuadas en el año 1995 por nuevas campañas exploratorias, acompañadas por los respectivos programas de perforación, muestreo y análisis químicos, y petrográficos. A partir de 1999 la empresa Geoconsulta retomó el proyecto realizando la recolección de nueva información de campo, adicionalmente una revisión analítica de laboratorio, y la reinterpretación de la información litológica y química.

En cuanto a la proporción de unidades litológicas, cabe destacar que lo que se reportará a continuación para cada unidad establecida, es producto de la apreciación visual en los afloramientos a escala mesoscópica; y que no necesariamente reflejan una proporción a nivel mineralógico, que solamente es posible afinar a través de ensayos químicos y estudios petrográficos de secciones que se mostrarán más adelante.

En el área de estudio, afloran principalmente rocas metamórficas como filitas, esquistos calcáreos-micáceos, esquistos calcáreos-grafitosos y mármoles. Todas estas correspondientes a la Faja de Paracotos perteneciente a la Formación Las Mercedes.

Se observan también abundantes vetas de calcita translúcida, blanca o amarillo claro, de hasta 5cm de espesor y en algunos tramos hay presencia de vetas de cuarzo. Tienen buena esquistosidad y por lo general se presentan plegadas. Se encuentran en contacto hacia el norte con las filitas, hacia el suroeste con los esquistos calcáreos grafitosos y hacia el sur con la unidad de mármoles.

Por otra parte, existe cuarzo cristalino de hasta 5cm de espesor, y en algunos casos desarrollo de microcristales de calcita y cuarzo, y algunas oquedades que están cubiertas por oxidación amarilla a marrón claro. Algunos tramos se observan intercalados con esquistos en capas delgadas de unos pocos centímetros, son de color gris azulado, tal como lo muestra la figura 2.1.



Figura 2.1: Cristales de cuarzo embebidos en mármol.

Fuente: Corniel, 2010.

Litológicamente, lo dominante en el área de la cantera, es la presencia de esquistos cuarzo-feldespáticos-micáceos, intercalados con esquistos grafitosos y calcáreos, en general muy plegados, con abundantes venas y vetas de calcita blanca y cuarzo. La roca se muestra con diferentes grados de meteorización.

La infiltración del agua de lluvia a través de las grietas del esquisto ha causado que los planos de foliación y diaclasas estén cubiertos por una película de óxido de hierro, color marrón claro rojizo; este fenómeno es observado tanto en los cortes en superficie como en los núcleos de perforación.

La litología más importante la constituye la roca caliza, la cual se presenta como una roca densa, cristalina y a veces con ligera textura arenosa. La caliza tiene una condición física de roca sana y dura, de color predominantemente gris medio a oscuro y a veces tiende a un color gris azulado. Es común la presencia de vetas y venas irregulares de calcita blanca y/o cuarzo, cortando la roca en diferentes direcciones.

Generalmente en las cercanías del contacto con los esquistos, la caliza desarrolla una estructura esquistosa, o cierta laminación e intercalación de capas delgadas de caliza y esquistos de semejante espesor, en un espacio de aproximadamente 10 a 20 metros.

Estructuralmente parece predominar una orientación general nor-oeste, con valores que varían entre N 15 - 70 W, con buzamientos al suroeste, entre 15 y 60 grados; sin embargo, localmente se observan sitios con fuerte plegamiento que modifica esta matriz estructural.

El estudio realizado por Corniel (2010), arrojó la siguiente actualización del mapa geológico de la zona de estudio (ver figura 2.2):

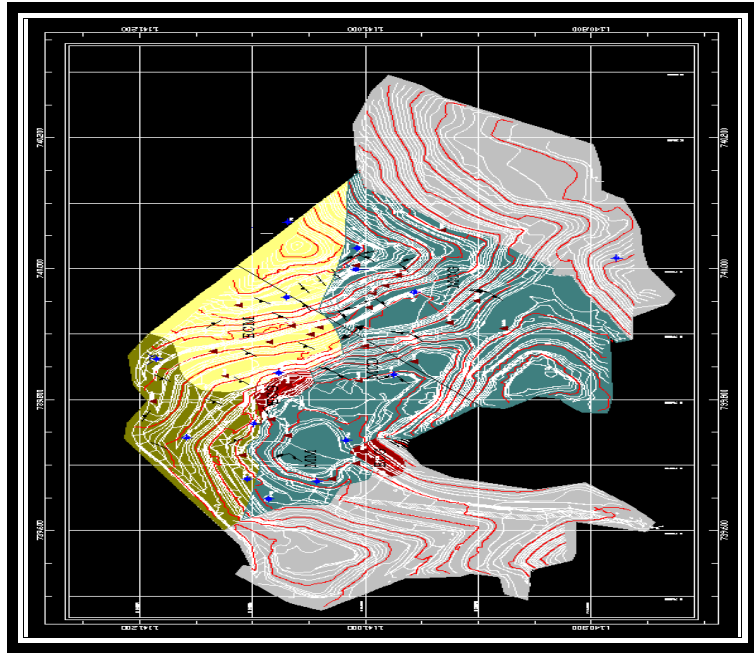


Figura 2.2: Mapa geológico de la cantera El Melero
Fuente: Corniel, 2010.

2.3 Aspectos Climatológicos

En esta región, los aspectos climáticos que intervienen son principalmente el relieve y la acción de los vientos alisios del noreste.

Se registra una temperatura media anual de 29°C para los 700 msnm y responde al tipo de clima Aw, con una pluviosidad que sigue el régimen de las zonas de clima tropical de sabana (seco en verano y lluvioso en invierno); las lluvias máximas se producen en junio, julio y agosto, siendo la media anual de 800 mm.

La cantera está localizada aproximadamente entre 550 y 700 msnm, del lado norte del valle que con dirección general este-oeste desarrolla la quebrada Caiza, donde predominan los vientos del este con una velocidad promedio de 5 a 15 nudos.

Es significativo destacar, como aspecto hídrico a la quebrada Caiza, de rumbo general aproximadamente este-oeste, es el cauce de agua más importante en el sector; la cual recoge el agua de los cursos menores que drenan principalmente del norte, todavía dentro de los límites de la cuenca del río Tuy Medio (ver figura 2.3).



Figura 2.3: Drenajes de la zona en estudio.

Fuente: Corniel, 2010

2.4 Aspectos Biológicos

2.4.1 Vegetación

En general la ladera está cubierta por una vegetación de poca a mediana altura; sin embargo en las partes altas de la cuenca de la quebrada Caiza se desarrolla una vegetación boscosa más densa.

Entre las especies arbóreas del bosque caducifolio se reconoce: samán, copaiba, caro, yagrumo, jabillo, aceite, algunos robles, dividive, entre otras. Y entre los arbustos predominantes: el alcornoque, cují y guayaba sabanera.

En la parte media de la cuenca hay una temprana intervención de la cubierta vegetal, para la construcción de aislados y/o ordenados desarrollos urbanísticos, y la vía férrea que comunicará a la región del Tuy con la capital de la república.

2.4.2 Fauna

Debido a la intervención antrópica a que ha estado sometida el área durante el desarrollo de la explotación, es muy difícil encontrar especies nativas. La fauna de la zona se ha limitado a la presencia de roedores, algunos reptiles y una más variada población de pájaros. A continuación se mencionan algunos de ellos:

Reptiles:

- Sapos (*Bufo marinus*)
- Cieguita (*Leptotyphlops macrolepsis*)
- Lagartijo (*Anadia marmorata*)

Mamíferos:

- Rabipelado común (*Didelphis marsupialis*)
- Rata montañera (*Oryzomys talamancae*)

Aves:

- Azulejo (*Tersina viridis*)
- Zamuro (*Coragyps atratus*)

Insectos:

Existe una gran diversidad de insectos, debido a las condiciones que reinan en la zona seleccionada. La mayoría juega un papel importante en la descomposición de la materia orgánica y estos a su vez, son importantes en el mantenimiento de la cadena trófica. Entre ellos se encuentran:

- Machaca (*Fulgora laternaria*)
- Escarabajo Hércules (*Dynastes neoturus*)

2.4.3 **Suelos**

Desde el punto de vista geotécnico, en el área se han identificado dos tipos de suelos producto de la acción del ser humano y los agentes meteóricos:

- *Suelos Residuales*: Esta variedad de suelo está distribuido en toda el área, destacándose en los taludes de corte de la vialidad interna y otras excavaciones hechas para localizar roca caliza para ser explotadas. Estos suelos residuales se originan por el alto grado de alteración in situ del esquisto micáceo calcáreo, originando un suelo limo-arcilloso calcáreo, color amarillo claro hasta blanco oscuro.
- *Suelos Coluviales*: Esta variedad de suelo se caracteriza por la presencia de bloques de caliza de hasta 3 m de diámetro, embebidos en una masa de suelo residual producto de la alteración de los esquistos. Estos suelos se observaron en las excavaciones realizadas en sectores situados debajo de la cantera en explotación. El coluvio es un suelo heterogéneo que ha tenido poco movimiento como lo señala la presencia de bloques con aristas

angulares a subangulares, mezcladas con el limo arenarcilloso color marrón claro, con tonos rojizos.

Según la clasificación de los suelos que se emplea en Venezuela (U.S.D.A. In: Comerma, 1994); los suelos de la cuenca baja del Río Tuy, son suelos jóvenes de origen residual generalmente pedregosos; localmente pueden presentar texturas medias arcillosas, fertilidad baja a moderada, de poca profundidad con mezclas de detritos de granulometría variable y alto coeficiente de percolación pertenecientes al orden de los Vertisoles.

2.5. Aspectos Socioeconómicos

En la vía hacia la cantera El Melero hay dos desarrollos habitacionales que sirven de ciudad dormitorio:

- Ciudad Valle del Chara, desarrollo para viviendas unifamiliares, edificios de 5 pisos y casas, aún en construcción, que se extiende por la parte norte de la carretera, desde el inicio de la vía hasta unos 4,5 Km. antes de llegar al portón de entrada a la cantera El Melero. Este desarrollo tiene vialidad interna y se comunica con la carretera, al inicio y en su parte final.
- “Altos del Águila”, ubicada a unos 2,3 Km. de la primera entrada de Ciudad Valle del Chara, un desarrollo de 60 viviendas unifamiliares construidas en un área vecina a la carretera, totalmente concluido y habitado.

Las comunidades arriba mencionadas, se encuentran a 15 minutos del servicio de ferrocarril que conecta a los Valles de Tuy con la ciudad de Caracas, en el tramo Caracas-Tuy medio “Ezequiel Zamora”.

La carretera que conduce desde la bifurcación, pasando por los desarrollos habitacionales anteriormente mencionados, y que termina frente al portón de entrada de la cantera El Melero, está totalmente pavimentada y en relativamente buenas condiciones.

A partir de este punto, existe una vía sin pavimentar, de tierra y en mal estado, que conduce a una comunidad rural, ubicada a unos 2,5 Km. del portón de entrada a la Cantera. Esta comunidad llamada Las Casitas del Paují, está conformada por un grupo de 28 viviendas y se identifica como una comunidad agroindustrial y turística. Sólo 14 están ocupadas permanentemente y las otras son ocupadas sólo en períodos de cultivo. No cuentan con servicios de transporte, electricidad, agua, ni cloacas. Algunas viviendas tienen pozos sépticos y el agua que utilizan para consumo humano es de lluvia, una vez al mes reciben agua potable a través de un camión cisterna de la alcaldía. Tienen un pozo del cual obtienen agua que sólo pueden utilizar para limpieza; porque no es tratada para potabilización.

La población que actualmente vive en la comunidad son aproximadamente 60 personas, de las cuales hay 8 niños y 2 adolescentes.

FNC consciente de su compromiso social, está llevando agua a las comunidades vecinas con los camiones cisterna de la cantera El Melero, de igual manera les presta apoyo para el acondicionamiento y mejora de la vialidad. Así mismo, se ha integrado a la comunidad con la cantera a través de operativos mensuales de las bodegas de Mercal que beneficia a las familias de zona.

CAPÍTULO III

GENERALIDADES DE LA FÁBRICA NACIONAL DE CEMENTOS (FNC)

3.1 Ubicación

La FNC se encuentra ubicada en el kilómetro seis (6) de la Carretera Nacional Charallave – Ocumare del Tuy en el estado Miranda; más específicamente, en el sector denominado La Cabrera. Las materias primas para la elaboración del cemento son extraídas de las canteras San Bernardo, Mume y El Melero en el caso de la caliza; la arcilla requerida para obtener los óxidos de Fe y Al provienen de la cantera La Cabrera, ubicada en terrenos relativamente cercanos a la planta de fabricación de cemento.

Las canteras Mume y El Melero se encuentran en el municipio Cristóbal Rojas, la primera en las cercanías de Charallave a unos 16 Km. de la planta; mientras que la cantera El Melero dista 30 Km. de la planta, próxima al aeropuerto Caracas.

La cantera El Melero, es uno de los centros de explotación de caliza que actualmente desarrolla la FNC, para satisfacer las necesidades de materia prima calcárea de la Planta de Ocumare del Tuy. El yacimiento se encuentra localizado aproximadamente a unos 10 Km. al norte de la población de Charallave (ver figura 3.1), en terrenos pertenecientes a FNC sin embargo, hacia el extremo sur, comparte el yacimiento con la propiedad del Sr. Fernando Perera, con quien se tiene un acuerdo de pago por concepto de producción. El área perteneciente a FNC, alcanza unas 135 hectáreas; no obstante el área en explotación propiamente dicha de la cantera, abarca un área cercana a las 18 hectáreas.

La cantera se encuentra ubicada entre las coordenadas UTM:

N: 1140800

E: 739500

N:1141215

E:740300

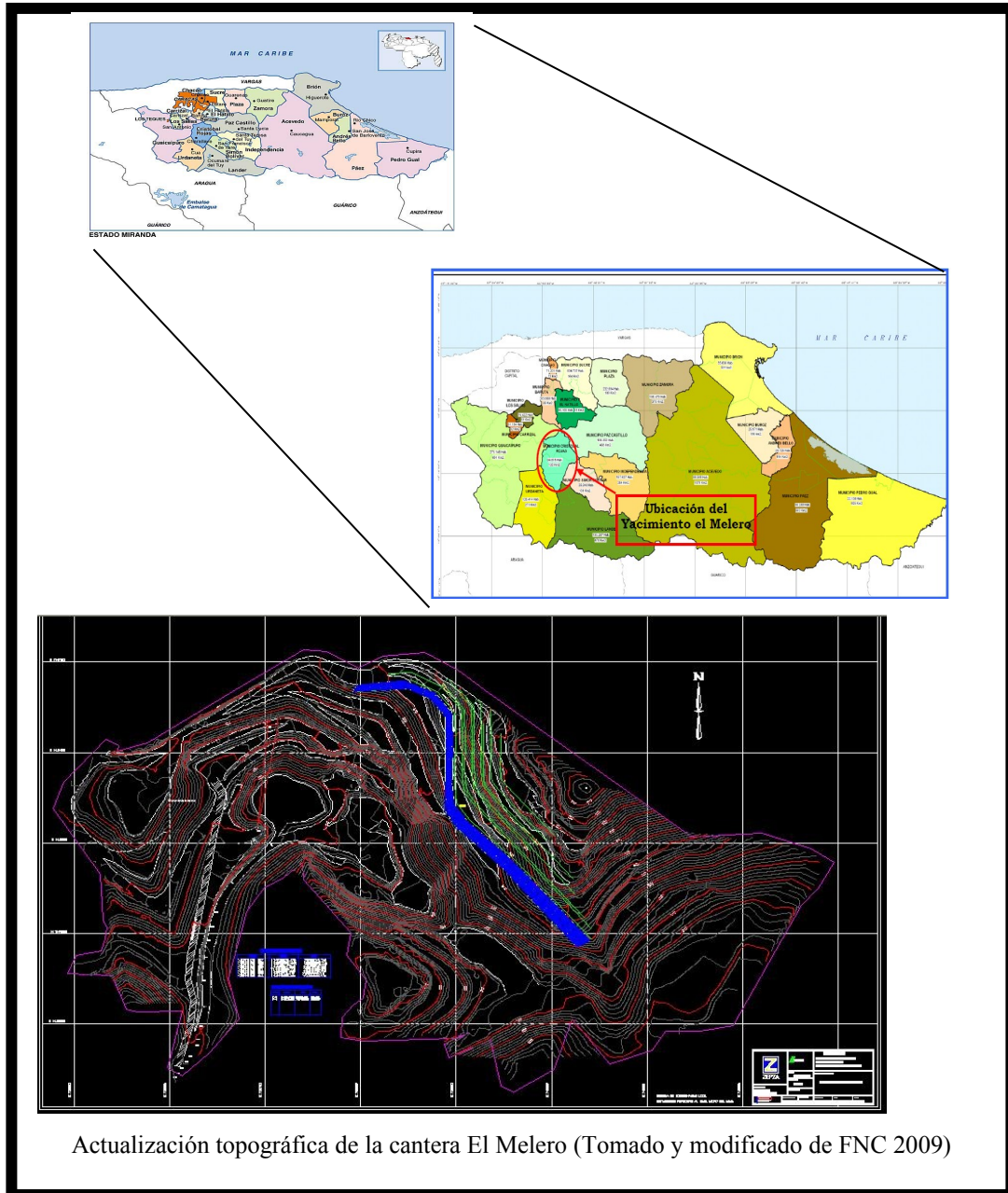


Figura 3.1: Ubicación cantera El Melero.

Fuente: <http://www.avenezuela.com/mapas/map/html/estados/miranda>

En la figura 3.2, que se muestra a continuación, aparece resaltada con una línea roja la zona estudiada, a fin de ubicar específicamente la misma.

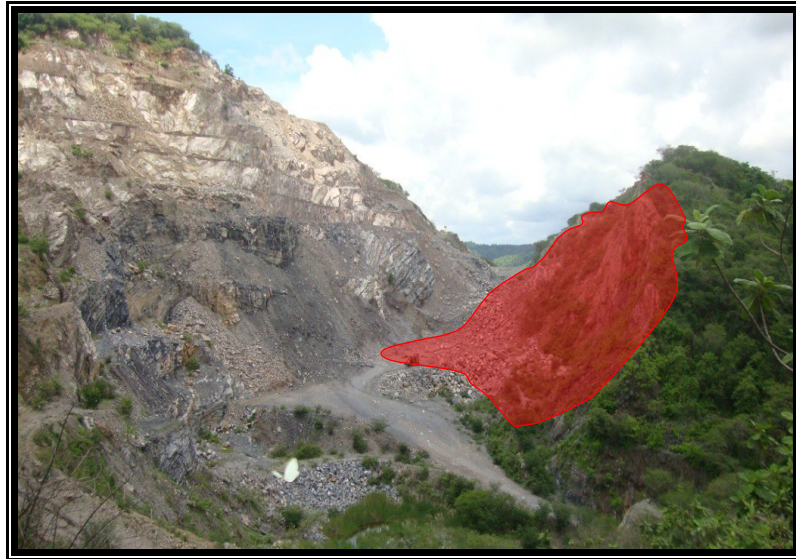


Figura 3.2: Señalización de la zona estudiada.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Reseña Histórica de la Operadora Minera

La Empresa “C.A Fábrica Nacional de Cementos S.A.C.A.” (FNC) en éste trabajo, fue creada en 1907, cuya personalidad jurídica era para esa época “Cementos La Vega C.A.”; con la cooperación del Estado venezolano, se consolidó en el desarrollo industrial cementero. A través del tiempo la operadora se ha dedicado a mejorar la calidad de vida del pueblo venezolano al aumentar la capacidad productiva con el objetivo de satisfacer la demanda del cemento y de los materiales para la fabricación y construcción de obras civiles.

El crecimiento sostenido por la demanda de cemento, sumado al agotamiento de las fuentes de materias primas cercanas a la planta cementera, influyó en la decisión de adquirir una nueva cantera de piedra de caliza en Ocumare del Tuy denominada

“Cantera El Peñón”. Así pues, la empresa establece en 1970 una nueva planta cementera con ubicación en los Valles del Tuy, específicamente en Ocumare del Tuy y es cuando se inaugura la actual planta, incorporando equipos y tecnología más sofisticada para ese momento en la industria del cemento. En la actualidad la Planta de Ocumare del Tuy se prepara para el nuevo milenio con la automatización de los procesos de producción.

La empresa, en su empeño por demostrar reservas minerales con excelente calidad, en cuanto a los componentes principales de las calizas utilizadas en la fabricación de cemento, se encontró en la necesidad de buscar espacios territoriales donde existiese caliza con un contenido elevado de carbonato de calcio (CaCO_3). Esto debido a que la principal cantera, que alimentaba para ese entonces a la planta de éste tipo de materia prima, se encontraba en sus años finales de explotación por agotamiento de la reserva mineral, lo cual produciría el déficit de materia prima.

En el año 1994, se llevó a cabo la alianza con el grupo francés LAFARGE; quienes cuentan con más de 160 años de historia en el área de materiales de construcción en un total de 60 países.

En el año 2000 se inicio la búsqueda de nuevos terrenos, consiguiendo así la apertura de negociaciones con la empresa Asfaltos Tocorón; la misma se encontraba en concesión de la cantera San Bernardo ubicada en el municipio Tomas Lander del Estado Miranda, con la extracción de piedra para la fabricación de asfalto y había sido abandonada por dificultades económicas debido al bajo índice de ventas del producto.

En enero del año 2001, la FNC adquiere la cantera El Melero; logrando asegurar con ello materia prima de excelente calidad para el proceso de fabricación de cementos. El gobierno de la República Bolivariana de Venezuela, en el año 2008, asumió el control del 90% de la industria cementera nacional, con la finalidad estratégica de

continuar el desarrollo de viviendas y obras públicas para el desarrollo nacional según el Plan Nacional Simón Bolívar (2007-2013).

Según la Gaceta Oficial N° 5.886 publicada el 18 de Junio de 2008, son tres (3) las cementeras involucradas en el Decreto con rango, valor y fuerza de Ley Orgánica de Ordenación de las Empresas Productoras de Cemento: Holcim, Lafarge y Cemex. Éstas fueron declaradas de utilidad pública y de interés social dada su vinculación estratégica con el desarrollo de la Nación, tal como lo explica el artículo 302 de la Constitución Bolivariana.

Es importante destacar, que este proceso de nacionalización empieza a frenar el desabastecimiento del sector de la construcción, provocado por la exportación de gran cantidad de los insumos requeridos, principalmente el cemento.

3.3 Patrimonio Minero

El área de los terrenos de FNC alcanza las 135 hectáreas; mientras que las dimensiones de la cantera propiamente dicha abarca un área más reducida, cercana a las 18 hectáreas.

Dentro de la propiedad se encuentran las instalaciones operativas de servicio industrial y las áreas complementarias. Los diferentes ambientes y áreas que contempla la cantera, son los siguientes:

- Entrada a las instalaciones
- Oficinas
- Estacionamiento de la cantera
- Galpón de depósito
- Taller mecánico

- Planta de trituración de mineral
- Patio principal de carga
- Patio de almacenamiento temporal.
- Área de almacenamiento de materia prima
- Área de escombrera
- Vialidad interna
- Polvorines.

3.4 Filosofía Organizativa de la Operadora Minera

De acuerdo con la política de la Empresa, la organización es lo más horizontal posible. La Gerencia de Planta Ocumare tiene a su disposición cinco (5) gerencias cada una de las cuales cuenta con sus respectivos departamentos. Estas gerencias son: Recursos Humanos la cual dispone de tres (3) áreas o departamentos: Bienestar Social, Servicio Médico e Higiene y Seguridad Industrial; Administración que tiene un departamento de Presupuesto y otro de Servicio de Pago; Ingeniería con un departamento de Proyectos y otro de Administración; ISO 9002 y finalmente la Gerencia de Optimización y Desarrollo que agrupa los departamentos de Control de Calidad, de Procesos y de Programas de Formación.

Adicionalmente, existen cuatro (4) departamentos que reportan directamente a la Gerencia de Planta, los cuales son: Producción, Compras, Mantenimiento Eléctrico y finalmente el departamento de Mantenimiento Mecánico. En la figura 3.3 puede observarse el organigrama de la empresa.

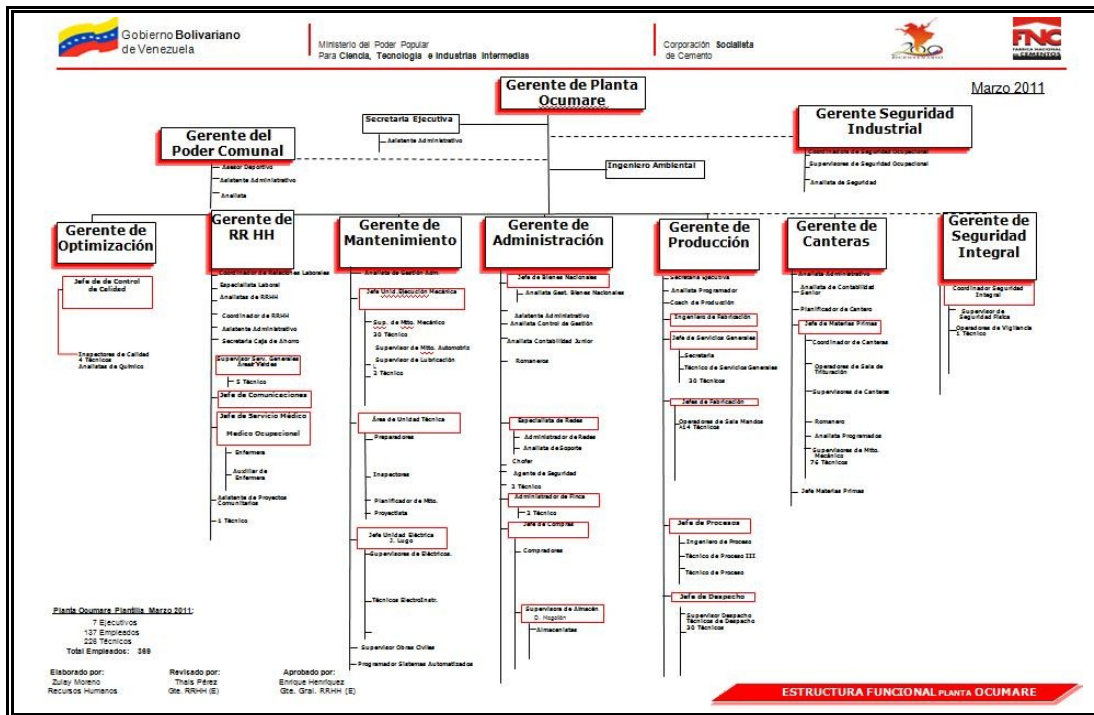


Figura 3.3: Organigrama de la empresa para el año 2011
 Fuente: Fabrica Nacional de Cementos.

3.5 Reservas Minerales

Según los criterios químicos y litológicos descritos en el plan de explotación del año 2005, se determinó el volumen de reservas del yacimiento El Melero, las cuales fueron medidas siguiendo el método de los perfiles paralelos.

El tipo litológico Caliza Masiva (CM), constituye la mejor calidad de caliza y por ello ha sido explotada preferencialmente en la cantera El Melero; sin embargo se ha incorporado el tipo litológico Caliza Laminar (CL) al volumen de reservas útiles; porque a pesar de que puedan incluir horizontes lenticulares, con valores relativamente altos de sílice y alúmina, pueden ser explotadas para confeccionar mezclas y así equilibrar y optimizar el aprovechamiento del total de reservas.

En atención a lo anterior, se realizó un nuevo cálculo de reservas, tomando en cuenta no sólo el tipo litológico “Caliza Masiva” (CM), sino también el tipo

litológico “Caliza Laminar” (CL), ambos con valores de CaO por encima del 42%. De aquí resultó un nuevo valor de reservas, en el sector tradicional de la cantera, de 3.647.288,44 Ton de caliza aptas para la producción de cemento. Actualmente las reservas son 2.784.206 Ton y quedan sólo 370.000 Ton de estéril por remover.

A continuación se presenta la Tabla 3.1, la cual indica las reservas geológicas de la cantera El Melero.

Tabla 3.1: Reservas geológicas de cantera El Melero

TONELADAS				
			CALIZA	ESTERIL
RESERVAS TOTALES			3.648.000	1.127.000
PRODUCCIÓN				
	2006	66.544	2006	0
	2007	354.193	2007	249.589
	2008	256.420	2008	291.361
	2009	137.176	2009	215.750
	2010	49.461	2010	0
	TOTAL	863.794	TOTAL	756.700
RESERVAS ACTUALES			2.784.206	370.300

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Operaciones Básicas de Producción

Las operaciones mineras del ciclo básico de producción son arranque y manejo del mineral; en este caso, perforación y voladura, carga y acarreo para extraer el material rocoso. Estas operaciones se enmarcan en los métodos convencionales de explotación siguiendo los procedimientos correspondientes a la minería a cielo abierto. Para la extracción de la caliza se avanza con el método de bancos de 10 m de altura, con una pendiente de talud final de 76°.

De acuerdo con el Plan de Explotación 2010, las operaciones de la mina se realizan con un turno diario, durante 300 días laborables al año. Este plan contempla el desarrollo de la cantera y la preparación de los frentes de arranque para la extracción de unas 360.000 Ton de caliza al año; para una vida útil de la cantera de siete (7) años.

El ciclo básico de producción o las operaciones unitarias en minería son:

- Perforación
- Voladura
- Carga
- Acarreo
- Reducción de tamaño

3.6.1 Perforación

La mayoría de las operaciones mineras a cielo abierto, se inician con el arranque del mineral mediante perforaciones de barrenos. Los equipos de perforación, permiten hacer barrenos de 4,5” (pulgadas) de diámetro, donde previamente se ha seleccionado una malla de perforación para voladuras de 3,0 m x 3,0 m y ocasionalmente podrán ser utilizadas de 3,0 m x 3,5 m y 2,5 m x 3,5 m; de altura de bancos de 10 m y 1 m de sobreperforación. La figura 3.4, muestra el equipo de perforación.



Figura 3.4: Perforadora marca Kaishan
Fuente: Elaboración propia.

3.6.2 Operación de Voladura de Roca

Para la explotación de caliza en El Melero, se realiza el laboreo a cielo abierto, optimizando la malla de perforación para voladuras a 3,5 m x 4.0 m; altura de barreno 10 m y sobreperforación de 1 m, disminuyendo el consumo de explosivos.

La inclinación de las perforaciones es de 90°, esencialmente rectas. La configuración de la malla es la denominada coloquialmente como “tribolillo”; es decir, el área de influencia entre barrenos es de forma triangular. El diseño de la explotación es el siguiente (ver tabla 3.2):

Tabla 3.2: Parámetros de diseño de explotación de caliza en El Melero

Característica	Especificación
----------------	----------------

Altura de banco	10 m
Ancho de berma	7,5 m
Tenor de corte	42 % CaO
Producción anual	360.000 Ton
Turnos diarios	1
Densidad de la Caliza (<i>in situ</i>)	2.5
Relación Estéril / Caliza	0,8:1

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.1 Cálculos de la Voladura de Roca

Para el cálculo del retiro se utiliza la siguiente fórmula:

$$B = D_e \times \left(2 \times \left[\frac{d_e}{d_r} \right] + 1.5 \right)$$

Donde: B: retiro

dr: densidad de la roca (gr./cm³)

De: diámetro de barreno

de: densidad del explosivo

El retiro mínimo es de 2,95 m.

Para el cálculo del espaciamiento la fórmula es la siguiente:

$$S = 1,4 \times B$$

S Espaciamiento
B Retiro

Por tanto el espaciamiento es de 4,1 m

Para calcular el volumen de material por barreno se tiene que:

B	Retiro (m)	3,5
S	Espaciamiento (m)	4,0
H	Altura del banco (m)	10

Por tanto el volumen de material por barreno es de 140 m³, es decir, 350 Ton por barreno (2,5 de densidad *in situ*)

Resumiendo lo anterior, a continuación se muestra en la tabla 3.3, la siguiente configuración del patrón de voladura:

Tabla 3.3: Configuración de las variables del patrón de voladura

Característica	Valor
Retiro (B)	3,5 m
Altura (H)	10 m
Retardo entre barrenos	42 ms
Retardo entre líneas	17 ms colocado después del segundo barreno (82.44 ms)
Espaciamiento (S)	4,0 m
Volumen de material (V)	140 m ³ – 350 Ton por barreno
Diámetro de barreno	4,5 in
Malla de perforación nominal	3,5 m x 4,0 m
Taco o cuello	2,5 m

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la carga específica, primero se describen los dos (2) esquemas de carga con explosivos que se usan en la cantera El Melero. Como restricción se tiene que la carga específica no puede ser mayor a 395 gr/m³.

La Caliza Masiva (CM) presenta una configuración mineral más sólida, ya que estuvo menos expuesta a la meteorización y ocupa los espacios desde la cota 640 hasta la parte inferior del yacimiento.

Para la CM se tiene la siguiente configuración de carga por barreno, presentada en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Carga unitaria por barreno en el patrón de voladura, cantera El Melero

Explosivo	Cantidad
Anfo (30Kg)	60 Kg.
Booster de pentolita 340 gr.	1
Senatel Magnafrac plus 65x 400	2 (1.47 Kg.)
Det. Excel Handidet 42/350 50''	1

Fuente: Elaboración propia.

Debido al uso del explosivo tipo Senatel Magnafrac como accesorio de voladura se reduce la cantidad de explosivo tipo Anfo por barreno. Por tanto el factor de carga es de 180,8 gr./Ton.

Para los requerimientos de explosivos como principio, se debe conocer la cantidad anual de caliza a ser explotada. Dicha cantidad es 360.000 Ton anuales (meta).

Si por cada barreno, se obtienen 350 Ton entonces son necesarios 1.132 barrenos. Por lo tanto, para una producción anual de 360.000 Ton es necesario, teóricamente, la siguiente cantidad de explosivos (ver tabla 3.5):

Tabla 3.5: Consumo anual de explosivos en cantera El Melero

Explosivos	Cantidad
Anfo (30Kg)	64.800 Kg. (2160 sacos)
Booster de pentolita 340 gr.	1080
Senatel Magnafrac plus 65x 400	2160
Detonador Exel Handidet 42/350 50”	1080

Fuente: Elaboración propia.

Lo que da como resultado una carga específica anual de 363 gr/m³, el cual es inferior a la restricción de 395 gr/m³.

El equipo de perforación de barrenos y materiales complementarios es el siguiente:

- Una (1) perforadora Kaishan con compresor de aire
- Dos (2) camiones cisterna, con capacidad de 8.000 litros
- Un (1) vehículo para lubricación de equipos móviles
- Un (1) vehículo de apoyo para el traslado de explosivos
- Un (1) vehículo para la supervisión

Cabe señalar que para las voladuras se utiliza el siguiente material:

- Emulsión explosiva marca Senatel Magnafrac Plus 65x400
- Agente de voladura ANFO
- Detonadores no eléctricos Exel Handidet
- Conectores de superficie retardados Primadet
- Cordón detonante, Booster de pentolita 340 gr.

3.6.3 Carga y Acarreo de Mineral

Para la carga y el acarreo, la empresa FNC cuenta con camiones marca Fiat Iveco para trasladar el material desde la mina hasta la tolva de trituración mineral, hacer la disposición del estéril, así como trasladar posteriormente la materia prima a la Planta de Ocumare. Para todo ello dispone de una flota de gandolas marca Mack con una capacidad de 35 Ton. La empresa FNC cuenta con una planta de trituración en El Meleró, donde se reduce el tamaño de roca, proveniente de los frentes de arranque, desde un tamaño de partícula de 75 cm. a otro menor de 38 cm., resultando así el material apropiado para ser transportado en camiones y para alimentar el proceso de la Planta de Fabricación de Cemento FNC (ver figura 3.5).



Figura 3.5: Carga y acarreo del material a la planta de trituración
Fuente: Elaboración propia.

El equipo utilizado para las labores de carga y acarreo es:

- Cinco (5) camiones marca Fiat I Iveco
- Una (1) excavadora marca Komatsu PC 300
- Un (1) Patrol marca CAT 12G
- Dos (2) cargadores frontales marca Belaz
- Un (1) martillo neumático marca Cat 320
- Una (1) excavadora marca Doosan modelo Solar 500 LVC

3.6.4 **Operaciones Auxiliares**

Son aquellas actividades que dan soporte para la realización de las operaciones básicas, pero generalmente no son parte directa de ellas, aunque son esenciales para permitir la explotación minera de un modo eficiente y seguro.

Algunas de las operaciones auxiliares son las siguientes:

- Seguridad y salud: riego para mantener el control del polvo, seguridad industrial.
- Control ambiental: calidad del aire, calidad del agua, control de estabilidad de taludes, control de erosión de suelos, revegetación y manejo de desechos.
- Mantenimiento de sistemas de drenajes.
- Manejo de escombros.
- Mantenimiento y reparaciones: taller mecánico y adquisición de repuestos.
- Alumbrado de vías y equipos.
- Comunicaciones: radio, teléfono.
- Transporte de personal.
- Construcción de vías y rampas de acceso.

3.6.5 Preparación del Mineral

El proceso de trituración permite disminuir, en sucesivas etapas, el tamaño de las partículas, empleando para ello equipos con características diferentes; como lo son en este caso mandíbulas y conos. Intercalados entre las etapas de trituración, se colocan equipos de clasificación que permiten seleccionar el tamaño de las partículas, separándolas entre retenidos y pasantes en función de las necesidades del mercado.

Para efectos de facilitar el transporte de caliza, se instaló una planta de trituración en la cantera El Melero, para reducir los fragmentos de roca productos de las voladuras de un tamaño de 75 cm. aproximadamente, provenientes de los frentes de explotación, a un tamaño máximo de 1"; el material resultante cumple con la granulometría requerida para el proceso de la elaboración de cemento. El material proveniente de la mina (zafra) se descarga en la tolva de recepción primaria de 60 Ton.; luego se lleva por medio de un alimentador tipo "*grizzly*" a la trituradora de mandíbula primaria de sección de admisión 30" x 42". La descarga de esta trituradora es llevada a través de dos (2) cintas a un área de almacenamiento con capacidad de 8.000 Ton., donde se regula la alimentación de la trituradora secundaria por medio de dos (2) vibradores, que descargan el material en una cinta que lleva el material hacia una criba con malla de 1,5"; el material pasante se envía a una segunda criba, y el retenido pasa por un primer cono y la descarga va a la segunda criba. El material pasante de la segunda criba va a las tolvas de descarga y el retenido por la primera malla de la criba, es enviado por una cinta transportadora de retorno a un segundo cono que cierra el circuito de trituración y clasificación del material, esquematizado en las figuras 3.6 y 3.7.

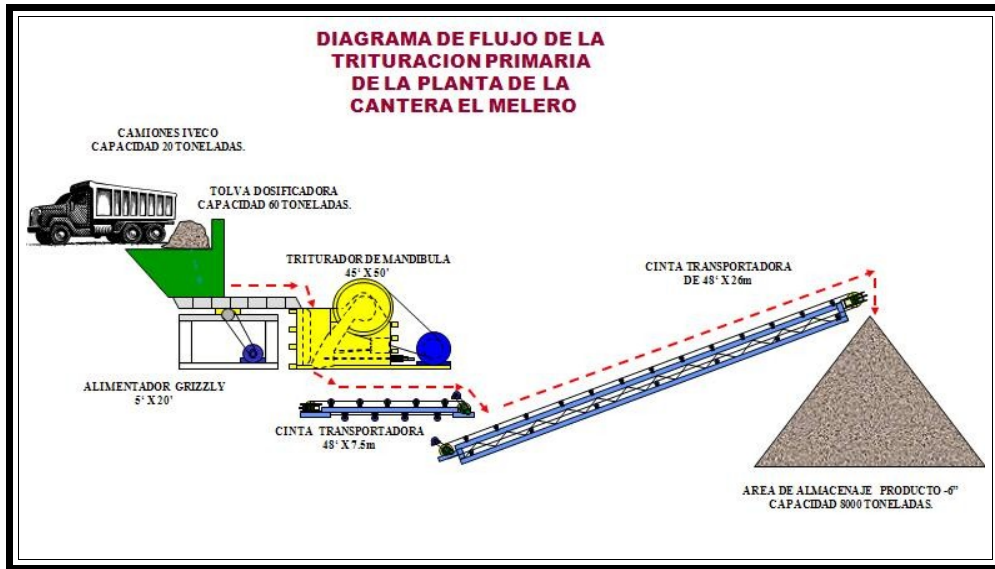


Figura 3.6: Diagrama de flujo de la trituradora primaria.
Fuente: Fabrica Nacional de Cementos.

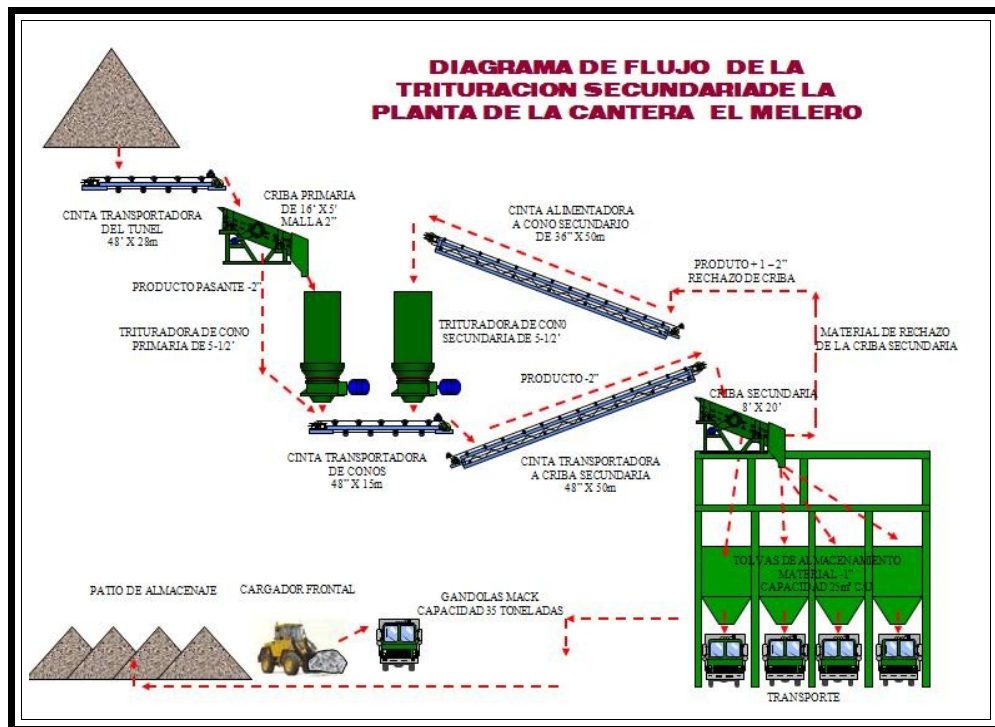


Figura 3.7: Diagrama de flujo de la trituradora secundaria.
Fuente: Fabrica Nacional de Cementos.

3.6.5.1 Área de Almacenamiento Temporal

Una vez que el material ha sido procesado, cada uno de estos productos va al sitio de almacenamiento temporal, donde queda a disposición de los transportistas para su distribución a la planta cementera a 30 Km de distancia y a las diferentes plantas de premezclados de FNC en el área metropolitana y el estado Miranda.



Figura 3.8: Área de almacenamiento temporal

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Según la Cumbre de la tierra (Johannesburgo 2002): la minería, las medidas de cuidado del medio ambiente tienen como objetivo que la actividad se desarrolle de manera que su efecto sobre la vegetación, el suelo, el agua y el resto de elementos del medio sea el mínimo posible, con ahorro de recursos y de energía, al tiempo que se reduce la contaminación y la generación de residuos.

Una de las medidas más importantes es la restauración, que permite integrar los terrenos explotados en su entorno ecológico y paisajístico, y desarrollar en ellos un uso alternativo a la minería una vez que concluye su explotación.

Se define desarrollo sustentable como: la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas, implica las limitaciones impuestas por el estado actual de la tecnología y la organización social sobre los recursos del medio ambiente y por la capacidad de la biosfera para absorber los efectos de la actividad humana. De lo anterior, se puede inferir que no existe una definición estática para desarrollo sustentable, muy por el contrario, el concepto de desarrollo sustentable es dinámico, va evolucionando en el tiempo. Debe entenderse el desarrollo sustentable como el equilibrio entre sustentabilidad económica (crecimiento económico), sustentabilidad medioambiental (protección ambiental) y sustentabilidad social (equidad social).

Así se tiene que un concepto de desarrollo sustentable para el sector minero sería aquel esquema de desarrollo que asegure la explotación racional de los recursos mineros existentes, de forma de satisfacer las necesidades de las actuales generaciones, generando desarrollo económico y social y protegiendo adecuadamente

el medio ambiente, sin comprometer la viabilidad de las futuras generaciones para satisfacer también sus propias necesidades.

Para lograr la sustentabilidad ambiental, los recursos naturales deben utilizarse a tasas que aseguren su mantenimiento en forma continua, pudiendo visualizarse un equilibrio entre las tasas de uso y de regeneración para los recursos renovables. En el caso de los recursos no renovables, como los minerales, al no existir generación su tasa de explotación debería estar sustentada por la tasa de aparición de nuevos recursos, vía exploraciones, como también por la tasa de reutilización y/o reciclamiento de los mismos.

Para el desarrollo sustentable de la minería se debe proporcionar el marco para la integración de las políticas ambientales y las estrategias de desarrollo social y económico. Se debe reconocer que el crecimiento es esencial para satisfacer las necesidades humanas y para mejorar la calidad de vida. Los aspectos que debiera considerar son:

- Calidad de vida de las personas;
- Complementariedad entre el desarrollo socioeconómico y la sustentabilidad ambiental;
- Equidad social y superación de la pobreza;
- Roles del Estado y del Sector Privado;
- Responsabilidad del causante;
- Mejoramiento continuo y
- Responsabilidad ante la comunidad internacional

4.1 Reservas Minerales

La reserva mineral, es la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido o indicado. Incluye dilución de materiales y tolerancias por pérdidas que se puedan producir cuando se extrae el material. Así mismo, se han realizado las evaluaciones apropiadas, que incluyen estudios de factibilidad, las consideraciones y modificaciones por factores de extracción, metalúrgicos, económicos, de mercados, legales, ambientales, sociales y gubernamentales.

Las reservas geológicas se clasifican en reservas: probadas, probables y posibles; ésta clasificación es tradicional.

4.1.1 Reservas Probadas

Son volúmenes definidos con precisión por el espesor del cuerpo mineralizado de interés económico, mediante sondeo exploratorio y en función del radio de influencia asignado a cada perforación. Según los criterios del método analítico, fijando un error máximo de estimación del espesor de 15% para un intervalo de confianza del 87% (Annels, 1991).

4.1.2 Reservas Probables

Son volúmenes no probados sobre los que el análisis de datos de la geología e ingeniería sugieren que son menos ciertos que en las probadas. Igual que las reservas probadas, éstas permiten un error máximo de estimación del 40% para el mismo intervalo de confianza (Annels, 1991).

4.1.3 Reservas Posibles

Son volúmenes que se encuentran dentro del contacto de superficie del yacimiento, y se basan en una supuesta continuidad más allá de los recursos medidos e indicados (Annels, 1991).

4.2. Métodos para Cálculo de Reservas

Los métodos principales utilizados para el cálculo de reservas son: los clásicos, estadísticos y geoestadísticos.

4.2.1 Métodos Clásicos

Las técnicas empleadas para la obtención de reservas de mineral son: el método de los polígonos, el método triangular y el método de las secciones. En la figura 4.1 a continuación, se muestra el método de los perfiles.

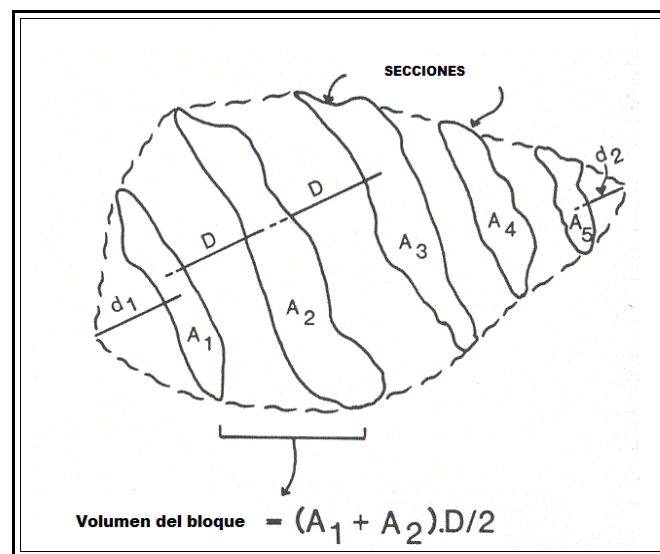


Figura 4.1: Representación del método de los perfiles.
Fuente: Bustillo y López, 1997.

Una vez determinadas las leyes minerales (concentración de CaCO_3) de cada sección, el siguiente paso es calcular los volúmenes. En el ejemplo que muestra la figura 4.1, el volumen de roca mineralizada será igual a: $(A_1 + A_2) \times 0,5D$, siendo D la distancia entre las secciones A_1 y A_2 .

4.2.2 Métodos Estadísticos

Se aplican las estadísticas de cálculo de reservas y las técnicas disponibles las cuales permiten obtener con un intervalo de confianza, la concentración mineral y el volumen aproximado del mineral de interés económico.

4.2.3 Métodos Geoestadísticos

Estos métodos toman en cuenta la importancia de las relaciones geométricas entre las muestras y sus respectivas zonas de influencia.

4.3 Reservas Recuperables

Según Annels (1991), la noción de reservas recuperables es quizás el factor de mayor interés en una empresa minera, y puede definirse como, la cantidad de mineral aprovechable dentro de un diseño de una fosa final de excavación, y que por concepto de su venta, representa un determinado beneficio. Las reservas recuperables deben satisfacer las restricciones de calidad requerida de mineral, parámetros de diseño geométrico y beneficio económico.

4.4. Método de Explotación Mineral.

De acuerdo a Herbert (2007), 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 las máximas condiciones de seguridad (ver figura 4.2).

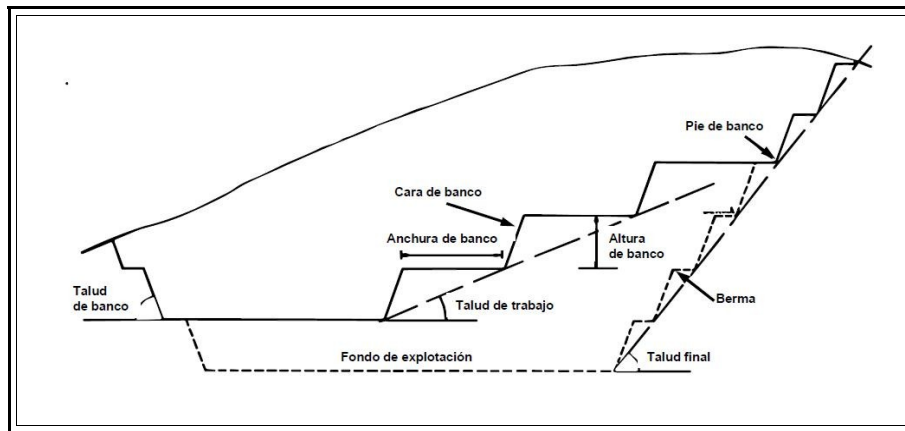


Figura 4.2: Parámetros geométricos para el diseño de excavaciones.

Fuente: Herbert, 2007.

Los términos geométricos principales que configuran el diseño de las excavaciones corresponden a los siguientes términos:

- *Banco de explotación:* el banco es una división vertical del depósito. En él se puede distinguir la cresta y el pié; estos corresponden, respectivamente, a la parte más alta y la más baja del banco. Generalmente, cada banco recibe como número de referencia la elevación en el pié. La altura del banco va en función de las dimensiones de los equipos a utilizar y de las características geomecánicas de la roca.
- *Talud del banco:* es la pared del banco cuyo ángulo recibe el nombre de

inclinación del talud, el cual depende de la estabilidad del macizo rocoso que está siendo excavado.

- *Talud de trabajo*: es el ángulo determinado por los pies de los bancos entre los cuales se encuentran las plataformas de trabajo. Es en consecuencia, una pendiente provisional de la excavación.
- *Berma*: representa la distancia horizontal entre la cresta de un banco inferior y el pié de un banco inmediatamente superior en elevación; sus dimensiones dependen de la estabilidad de los taludes.
- *Rampas*: son vías que permiten comunicar los distintos niveles de explotación. Sus dimensiones e inclinación dependen de la relación entre las características de los camiones utilizados y las distancias a cubrir.
- *Ángulo de inclinación de la fosa (α)*: es el ángulo de inclinación promedio de la fosa desde el fondo de la excavación hasta la superficie, medido desde la horizontalidad. Este ángulo es igual al ángulo de reposo del material donde se realiza la excavación. El mismo debe ser lo suficientemente alto como para minimizar la cantidad de estéril a remover de toda la fosa.
- *Fondo de la fosa*: se denomina así al área correspondiente al pié del banco más profundo de la excavación. Esta área debe ser lo suficientemente grande como para permitir la maniobrabilidad de los equipos de producción de la mina.

4.5 Manejo de Aguas de Mina

Según Sánchez (1995), el objetivo del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud, reduciendo la infiltración de agua que aumenta las presiones de poro, y reduce los esfuerzos efectivos entre las partículas de la masa mineral; reduce además e incluso evita la erosión hídrica.

El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar las aguas de escorrentía, tanto del talud, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio adecuado; en lo posible, debe ser desviada lejos antes de que penetren a las estructuras susceptibles al deslizamiento de masa. Esto puede lograrse con la construcción de zanjas interceptoras en la parte alta del talud, denominadas zanjas de coronación.

En problemas de taludes no se recomienda la utilización de conducciones de agua por tuberías debido a la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, generando problemas de infiltración masiva concentrada.

4.5.1 Tipos de Estructuras de Drenaje

Las estructuras de drenaje se diseñan en función de la magnitud del caudal, régimen de fluido (crítico, sub-crítico o supercrítico), la pendiente del talud y la carga de sedimentos. Pueden ser longitudinales o transversales.

- *Longitudinales*: son las cunetas y canales; la principal diferencia entre ambas es la capacidad y la sección, las cunetas son de sección triangular y menor capacidad y los canales son de sección rectangular o trapezoidal y de mayor capacidad de conducción de agua.

- *Transversales:* entre éstas tenemos: alcantarillas, torrenteras, bajantes, caídas, bateas, drenaje francés o subdrenajes, puentes y enrocados.
- *Zanjas de coronación:* se ubican en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas de lluvia, evitando su paso por el talud. No debe construirse muy cerca del borde superior del talud, para evitar que se conviertan en el comienzo y guía de un deslizamiento en cortes recientes o de una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos ya producidos; o que se produzca una falla en la corona del talud o escarpe.

La finalidad de las zanjas de coronación es interceptar el escurrimiento superficial y evitar la erosión hídrica. El diseño de los canales es a la vez un problema de orden hidrológico e hidráulico: se requiere determinar la cantidad de agua o caudal que llegará al canal y las dimensiones de la estructura adecuada para conducirla. Además, el canal debe ser económico en su construcción y requerir poco mantenimiento, además de ser estéticamente agradable. Al diseñar una estructura de drenaje, uno de los primeros pasos a seguir consiste en estimar el volumen de agua que llegará a ella en un determinado instante. Dicho volumen de agua se llama descarga de diseño.

4.5.2 Caudal de Diseño

Carciente (1985) indica, que para cuantificar los caudales de diseño de las obras de drenajes se emplea el Método Racional, que consiste en aplicar una fórmula empírica muy sencilla, con la cual se puede aproximar el caudal de una creciente sobre la base de una intensidad de lluvia promedio en milímetros por hora, para una determinada frecuencia y por un tiempo igual al del tiempo de concentración de la corriente.

De acuerdo con la fórmula racional:

$$Q = (C * I * A) / 3,6$$

Donde:

Q = Caudal de diseño (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía adimensional (Tabla 4.1)

I = Intensidad de la precipitación (mm/h); correspondiente al tiempo de concentración.

A = Área de drenaje (km²).

Según Carciente (1985), el método es confiable para cuencas menores de 500 hectáreas (Ha). Una de las hipótesis básicas de la fórmula racional, es la de suponer que la lluvia será de suficiente duración para permitir la llegada del agua que cae sobre toda la superficie de la cuenca a la boca de la estructura de drenaje. Este tiempo se ha denominado tiempo de concentración. Numerosas fórmulas empíricas han sido establecidas para la determinación del tiempo de concentración, entre ellas se tiene la siguiente:

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

Tc: tiempo de concentración (s)

L: longitud del cauce principal (m)

H: diferencia de elevación (m).

Según Carciente (1985), la fórmula racional está basada en las hipótesis:

- El escurrimiento resultante de cualquier intensidad de lluvia es un máximo cuando esa intensidad de lluvia persiste, al menos, tanto como el tiempo de concentración.
- El escurrimiento resultante de una intensidad de lluvia, con duración igual o mayor que el tiempo de concentración, es una fracción de la precipitación.
- La frecuencia de la máxima descarga es la misma que la de la intensidad de lluvia para el tiempo de concentración dado.
- La relación entre máxima descarga y tamaño del área de drenaje es la misma que la relación entre duración e intensidad de precipitación.
- El coeficiente de esorrentía es el mismo para lluvias de diversas frecuencias.
- El coeficiente de esorrentía es el mismo para todas las lluvias de una cuenca dada.

4.5.3 Coeficiente de Esorrentía.

Generalmente las cuencas hidrográficas presentan una gran variedad de suelos, coberturas vegetales y pendientes. El procedimiento recomendado para determinar el coeficiente de

escorrentía, consiste en obtener un promedio ponderado de los coeficientes parciales de cada una de las zonas (ver tabla 4.1), tal como se expone a continuación:

1. Se divide la cuenca en zonas homogéneas en lo que se refiere al tipo de suelo, cobertura vegetal y pendiente.
2. Con base en los valores que aparecen en la tabla 4.1 se establece la magnitud del coeficiente de escorrentía para cada una de las zonas homogéneas.
3. El valor del coeficiente de escorrentía resulta del promedio ponderado de todos los coeficientes anteriormente determinados, para cada una de las zonas homogéneas en las cuales se dividió la cuenca total.}

Tabla 4.1: Coeficiente de escorrentía

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C						
Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del Terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Desopreciable
		50%	20%	5%	1%	
Sin Vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos: Vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, Gramas	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques: Densa Vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: Carciente, 1990.

4.5.4 Intensidad de Precipitación.

Según Carciente (1985), la intensidad de la lluvia es la mayor o menor cantidad de agua que cae en un lapso determinado. Generalmente, la duración se expresa en

minutos o en horas y la intensidad como lámina o altura de agua en milímetros, centímetros o pulgadas por hora, o como caudal en litros por segundo sobre hectárea. Se puede determinar con las curvas de intensidad-duración-frecuencia de aguaceros equivalentes, en función del período de retorno.

En regiones donde no hay datos suficientes acerca de la precipitación pluvial, se requieren datos de frecuencia generalizada.

4.5.5 Período de Retorno.

La frecuencia de una creciente, se define estadísticamente como el número promedio de años entre la ocurrencia de una precipitación de cierta intensidad y otra precipitación igual o mayor que la primera. Para los efectos de diseño, se recomienda que la frecuencia sea establecida en función de las características e importancia de la vía y del tipo de obra de drenaje (Carciente, 1985).

4.5.6 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Una curva IDF o de Intensidad-Duración-Frecuencia es una relación matemática, generalmente empírica, entre la intensidad de una precipitación, su duración y la frecuencia con la que se observa. La frecuencia de las precipitaciones intensas puede caracterizarse mediante periodos de retorno, que no son más que la inversa de la frecuencia.

Las curvas IDF muestran como varía la intensidad de las precipitaciones para un período de retorno determinado, en función de su duración.

Los gráficos de las curvas IDF llevan en las abscisas la duración de la lluvia, en las ordenadas la intensidad y en forma paramétrica el período de retorno (ver figura 4.3).

Se obtienen a través de un análisis probabilístico de las lluvias máximas anuales. El Manual de Carreteras de Carciente (1985), menciona dos procedimientos para calcularlas:

- a) A partir de datos pluviográficos.
- b) A partir de datos pluviométricos.

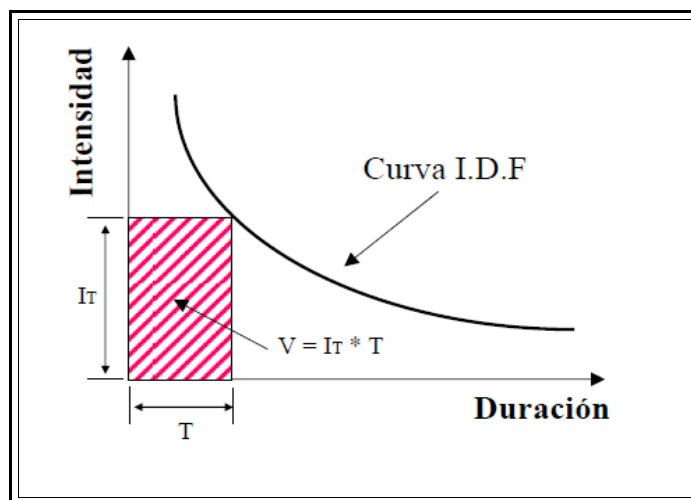


Figura 4.3: Curva IDF Intensidad-Duración-Frecuencia

Fuente: Estudio comparativo de los diferentes métodos utilizados para la predicción de intensidades máximas para el diseño adecuado de estructuras hidráulicas. Ramírez, 2006.

4.5.7 Diseño de Canal de Escorrentía.

Para el diseño de un canal, una vez determinada la cantidad de agua a conducir, se requiere establecer las dimensiones físicas para que la estructura hidráulica cumpla su función. Se deben distinguir los siguientes elementos de un canal:

- *Área o superficie mojada:* se refiere a la sección transversal de la corriente de agua que conduce el canal, en metros cuadrados (m²).

- *Perímetro mojado*: es la longitud de la línea de intersección del plano de la sección transversal con la superficie mojada del canal, en metros (m).
- *Radio hidráulico*: es la relación entre el área de la sección triangular y el perímetro mojado.
- *Profundidad hidráulica*: relación entre el área de la sección triangular y el ancho de la superficie libre en metros (m).
- *Factor de sección*: es el producto del área de la sección triangular por la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica.

Los canales de drenaje deben transportar las aguas a una velocidad suficiente para que los sedimentos no se depositen en ella. En general, pueden ser de tres (3) tipos en cuanto a su sección transversal: circulares, triangulares y trapezoidales. Los canales pueden o no estar revestidas.

El caudal proporcionado por una canaleta es dado por:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q= Caudal (m³/s)

V= Velocidad del agua (m/s).

A= Área de la sección mojada (m²).

La velocidad del agua en canales abiertos está dada por la “Fórmula de Manning” la cual debe su nombre al Ing. Robert Manning (1889).

$$V = 1,49/n (R^{2/3} S^{1/2})$$

Donde:

V = Velocidad del agua (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad del canal, de Manning (ver tabla 4.2)

R= Radio hidráulico (m)

Área de la sección transversal / perímetro mojado

S = Pendiente de la sección longitudinal del canal (%).

Vmax = Velocidad máxima. (ver tabla 4.3).

Tabla 4.2: Coeficiente de rugosidad típicos para canales

TIPO DE CANAL	n
Revestida con cemento (hormigón), terminación fina	0,015
Revestida con cemento (hormigón), terminación gruesa	0,013
Suelo excavado, recto sección uniforme, sin vegetación	0,022
Suelo excavado, recto sección uniforme, laterales cubiertos con césped	0,030
Suelo excavado, en curva o irregular, sección no uniforme, con arena o piedra en el fondo	0,030
Canal natural, recto, sin vegetación	0,030

Fuente: Lyle, 1987

Tabla 4.3: Valores máximos de velocidad de flujo para evitar erosión hídrica

Tipo de fondo	Velocidad Máxima (m/s)	Pendiente (%)
Arcillo – arenoso	0,75	0,50
Arcillo – limoso	0,90	1,00
Arcilloso	1,20	2,00
Mezcla de arcilla y pedrisco	1,50	2,50
Roca	2,40	4,00

Fuente: Lyle, 1987

Para el diseño de obras en el cauce de una corriente permanente, se recomienda trabajar con período de retorno de veinticinco años; y para cunetas y obras en taludes y en áreas de corrientes ocasionales, se puede utilizar un período de retorno de diez años.

Los canales pueden ser revestidos o no revestidos, en el diseño de canales no revestidos se emplea el criterio de la máxima velocidad, para garantizar que en el canal no se produzca erosión. Los canales en forma de U presentan velocidades menores que los canales en forma de V y la presencia de zonas de inundación junto al canal permite la sedimentación en las inundaciones, disminuyendo la carga de materiales en la corriente.

Para conducir las aguas, desde un nivel más alto a uno más bajo, se usan caídas o torrenteras; las cuales son canales cuyo fondo tiene una fuerte inclinación. El uso de caídas escalonadas o torrenteras, con el fin de ir disminuyendo la energía cinética a través del recorrido, presenta el inconveniente de que el control del agua en ésta es relativo, pues al ser sometidas a gastos variables, el salto hidráulico que se produce en cada escalón varía mucho con la descarga. Por otra parte, en pendientes fuertes, con topografía accidentada, generalmente no se dispone del espacio suficiente para el adecuado desarrollo hidráulico de la estructura.

Para el diseño de un canal, una vez determinadas la cantidad y velocidad del agua a conducir, se obtienen las dimensiones de la estructura para canales triangulares por las siguientes fórmulas (ver figura 4.4):

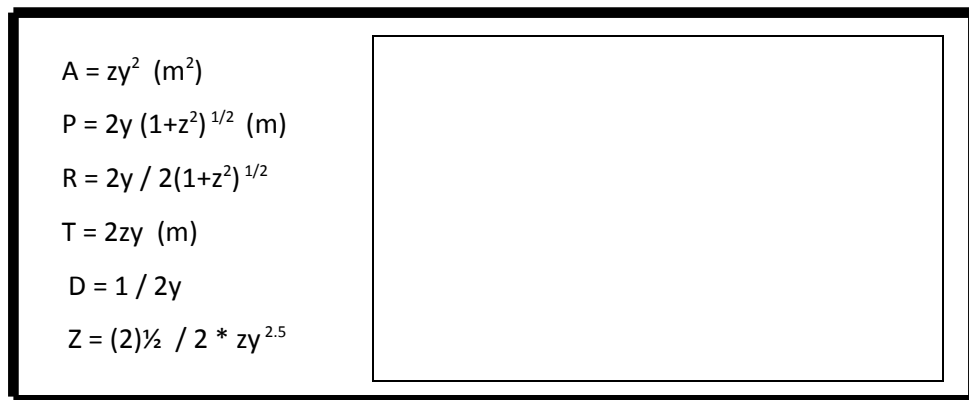


Figura 4.4: Sección transversal para canales triangulares

Fuente: Carciente, 1985.

4.6 Usos Potenciales de Terrenos Afectados

Según el Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería (2004), las operaciones extractivas constituyen un uso temporal del terreno, con períodos de ocupación que con frecuencia no superan los 20 ó 30 años, salvo casos especiales como son los grandes yacimientos metálicos. El estado que presentaban las superficies después de finalizadas las actividades mineras, solía ser de un abandono total, donde difícilmente tenía cabida su aprovechamiento por parte de otros tipos de actividades.

El objetivo de la recuperación es restituir la posibilidad de que el terreno alterado vuelva a ser útil para un determinado uso, sin perjudicar el medio ambiente. Cualquiera que sea el uso adoptado en la recuperación, deberá ajustarse a las necesidades de la zona y su entorno, y deberá ser compatible con los usos ahí

existentes. Si lo que se pretende tras la explotación minera es volver a dar a los terrenos el mismo uso que tenían con una implementación de las condiciones originales, se trata de una restauración propiamente dicha; y cuando se pretenda conseguir un aprovechamiento nuevo y sustancialmente diferente al anterior, los terrenos tendrán que ser rehabilitados o recuperados.

Los posibles usos a que puedan destinarse los terrenos afectados por las explotaciones mineras pueden dividirse en:

- Urbanístico e industrial
- Recreativo intensivo y deportivo
- Agrícola
- Forestal
- Recreativo no intensivo y educacional
- Conservativo de la naturaleza y refugio ecológico
- Depósito de agua y abastecimiento a poblaciones
- Vertederos de estériles y basuras

Recientemente, se ha incorporado el uso geoturístico, a través de estrategias de geoconservación, conservación de patrimonio geológico y patrimonio minero.

Es importante desde el punto de vista del operador minero, que se establezca desde el principio el uso final previsto para los terrenos, con el fin de adecuar y contemplar el mismo en el proyecto minero.

Una vez elegido el uso que se considera más apropiado, es necesario acondicionar el terreno con el fin de que la instauración del uso resulte efectiva. Para ello, es necesario remodelar la zona y facilitar o mejorar las redes de drenajes que controlan la erosión.

La recuperación de los terrenos afectados por explotaciones mineras, tiene en la mayoría de los casos como objetivos específicos modelar las superficies y suministrar una cubierta vegetal diferente según el uso previsto. Existe una íntima relación entre la vegetación y los usos del terreno, de manera que las limitaciones que puedan surgir en el establecimiento o durante el crecimiento de las plantas supone también restricciones en la elección del uso.

La determinación el uso potencial o la capacidad de un terreno, después de que la actividad minera ha tenido lugar, puede ser realizada a partir de la clasificación de capacidades utilizada en Gran Bretaña (*U.K. Land Use Capability Classes*). Según éste método, el criterio de clasificación depende de los siguientes factores: pendiente, textura suelo y pedregosidad, clima, humedad (drenaje y disponibilidad del agua) y riesgo de erosión. El criterio puede utilizarse no sólo para evaluar el potencial de un área ya restaurada, sino también para determinar las medidas necesarias a tener en cuenta para recrear un área apropiada para el uso futuro. Además de lo que se decide en asamblea comunal con los actores gubernamentales nacionales, concesionarios, autoridades locales y comunidad.

4.7 Aspectos de Revegetación

De acuerdo al Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería (2004), la mayor parte de las actividades que desarrolla el ser humano son, en mayor o menor medida, agresivas para la naturaleza. La minería reviste especial interés, ya que después de proceder a la extracción de los recursos minerales, si no existe una recuperación posterior, los terrenos abandonados quedan en una situación de degradación sin posibilidades reales de aprovechamiento.

La sociedad actual, consciente de esta situación, ha comenzado a considerar la explotación de recursos minerales en el marco de la ordenación del territorio. Es por ello que se ha comenzado a planificar el cierre de mina desde el mismo momento de la concepción del proyecto minero; contemplando las operaciones extractivas como usos transitorios y no terminales por lo que es necesario reacondicionar los terrenos afectados para alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico sustentable y la conservación de la naturaleza.

El reacondicionamiento de los terrenos afectados, puede ir desde la recuperación y rehabilitación para un nuevo uso del territorio hasta conseguir el aprovechamiento nuevo y sustancialmente diferente al que correspondía a la situación inicial, que es lo que se entiende por rehabilitación o recuperación. Cualquiera que sea el plan diseñado, es obvio que se trata de una obligación social cuya viabilidad es a todas luces factible y que supone un valor añadido al propio proyecto minero.

Independientemente del uso previsto para los terrenos afectados por las labores mineras, la revegetación suele jugar un papel importante, ya que posibilita:

- La restauración de la producción biológica del suelo
- La reducción y control de la erosión hídrica y eólica
- La estabilización de los terrenos sin consolidar
- La protección de los recursos hidráulicos
- La integración paisajística

4.7.1 Preparación del Terreno para la Revegetación

Al analizar el terreno sobre el que se debe llevar a cabo la revegetación, después de finalizada la actividad minera, se observa la dificultad o imposibilidad de desarrollar cualquier tipo de cubierta vegetal por presentar un sustrato inadecuado, con

características físicas y químicas alteradas y componentes biológicos ausentes; con inexistencia de materia orgánica del suelo que constituye los microcosmos con nutrientes, polisacáridos y organismos del suelo.

Los objetivos principales que han de tenerse en cuenta en los trabajos de preparación del terreno son:

- Proporcionar un buen drenaje.
- Descompactar el medio mineral donde se promueve la vegetación para permitir el adecuado desarrollo de raíces.
- Reducir o eliminar la acidez o alcalinidad, así como la presencia de elementos tóxicos.
- Aumentar el suministro de nutrientes esenciales para las plantas.
- Integrar la morfología del terreno al paisaje circundante.

Para la extensión de la capa con materia orgánica se recomienda lo siguiente:

- El extendido de la capa de tierra debe realizarse sobre el terreno ya remodelado, con maquinaria que ocasione la mínima compactación.
- El material recolocado debe adoptar una morfología similar a la original.
- El extendido de cada capa debe efectuarse de forma que se consiga un espesor aproximadamente uniforme en concordancia con el uso posterior del terreno y la red de drenaje.

- Debe evitarse el paso de maquinaria pesada sobre el material ya extendido.

Para proporcionar un buen contacto entre las sucesivas capas de material superficial, se recomienda escarificar la superficie de cada capa (5 cm. de profundidad) antes de cubrirla. Si el material sobre el que se va a extender estuviera compactado habría que realizar un escarificado más profundo (50 – 80 cm.). Esto previene la laminación en capas, mejora la infiltración y el movimiento del agua, evita el deslizamiento de la tierra extendida y facilita la penetración de las raíces.

La topografía final que presenta la superficie después de haberse efectuado la explotación minera influye en gran medida en el éxito del establecimiento de la vegetación. Dicha topografía debe cumplir con dos objetivos principales: el integrarse armoniosamente en el paisaje natural circundante y facilitar el drenaje natural del agua de escurrimiento en superficie.

En las áreas afectadas por la minería y vías de acceso y, por supuesto, en los frentes de explotación que presentan taludes superiores a 20°, se dificultan los trabajos de adecuación del terreno para acoger una determinada vegetación. Es por esta razón que es necesario adoptar medidas estructurales de corrección o de protección del talud antes de proceder a la descompactación y aporte de materia orgánica, con el fin de eliminar los problemas de erosión o inestabilidad, que normalmente, presentan y que hacen técnicamente inviable la implantación de la vegetación.

Estas medidas, en muchos casos, pueden agruparse y resumirse en tres (3) grandes grupos:

- Reconfiguración del terreno
- Drenajes
- Protección superficial

4.7.1.1 **Reconformación del Terreno**

Esto supone fundamentalmente el movimiento de tierras para reducir el grado de pendiente, y conseguir superficies con declive menor que favorezcan posibles tratamientos posteriores. Se trata de medidas costosas y en muchas ocasiones de difícil ejecución por el empleo necesario de maquinaria pesada y por el difícil acceso que, frecuentemente, presentan las zonas a remodelar. Algunas de estas medidas se concretan en:

- Reducir el ángulo del talud.
- Reperfilear con diferentes ángulos de pendiente; este método se emplea cuando existen diferentes tipos de material.
- Terracear (reduce la superficie de erosión, ya que controla la escorrentía superficial, por la disminución de la velocidad de las aguas, lográndose mayor retención de humedad por parte del suelo).

En el caso de taludes y bermas en roca dura compacta, el modelado o la reconformación se reduce al arranque parcial del material, con medios mecánicos o con perforación y voladura de roca.

4.7.1.2 **Drenajes**

El deslizamiento y la inestabilidad general de un talud tiene lugar por un aumento en el contenido de agua en los materiales granulares y/o cohesivos del suelo, que

producen un debilitamiento y un mayor esfuerzo cortante. Las propiedades resistentes de los materiales pueden ser mejoradas mediante una reducción de su contenido en humedad natural. Estas mejoras se pueden llevar a cabo de dos formas:

- Eliminación o extracción del agua intersticial en el macizo rocoso.
- Intercepción del agua de escurrimiento antes de que llegue al talud.

4.7.1.3 Protección Superficial de Terreno

Se emplean en taludes de inclinación pronunciada y sometidos a una fuerte erosión hídrica. Por la acción de sujeción que ejerce, contribuye a un mejor establecimiento de la cubierta vegetal a implantar por hidrosiembra de semillas o plantación de bulbos o estacas. Los métodos utilizados son:

- Estaquillado (fajinas)
- Muros de contención
- Dique de consolidación
- Retentores de sedimentos
- Geo y biomembranas

4.7.2 Selección de Especies Vegetales

Debido a las alteraciones ambientales que producen las explotaciones mineras, debe realizarse una selección de especies duras (no frutales) y resistentes a las características ambientales que se presentan luego de la explotación. Esta decisión permite establecer en el tiempo la evolución de la recuperación del área afectada.

Lo normal, según la extensión de los terrenos degradados, es que se puedan ser iniciadas las labores de recuperación inmediatamente después de iniciar la

explotación. También se pueden realizar labores temporales de aclimatación y adaptación de especies en áreas adyacentes que no interfieran con el proceso extractivo minero, incluso pueden establecerse, con carácter temporal, labores de adecuación con fines paisajísticos para disminuir la intensidad de ruidos y polvo.

El éxito de la recuperación depende, en gran medida, de la selección de las especies, de los métodos de establecimiento y de la consideración de tres (3) grupos de factores que se relacionan directamente con dicha selección. Los primeros, de carácter general, son los relacionados con:

- La naturaleza de las zonas mineras a recuperar
- Los aspectos macro climáticos
- El destino del uso futuro

Otros son los factores locales que se corresponden con los aspectos relativos a las enfermedades de la vegetación, las plagas, la respuesta a las alteraciones de sequía, etc. Y un tercer grupo relacionado con las exigencias de la propia vegetación. En relación con esto se puede intervenir el medio en un cierto grado para adecuarlo a las necesidades de las especies vegetales que se van a utilizar.

El planteamiento inicial para la selección de especies se estructura en tres (3) etapas:

- Definición del uso propuesto para el área afectada.
- Búsqueda de información local y bibliográfica sobre las comunidades vegetales regionales y locales.
- Recopilación de datos y el análisis de las características de la zona, tanto en el ámbito general (clima, litología, etc.), como en el particular

(drenaje superficial, micro exposición, textura de los materiales que constituyen el sustrato, etc.).

4.7.2.1 Especies Indicadoras de Características Ambientales

La determinación de especies indicadoras de gradientes o características ambientales se basa fundamentalmente en la investigación y en la experiencia. Es frecuente encontrar, en la literatura sobre el medio natural, listas de especies que se conocen con más o menos seguridad acerca de su relación con algún factor ambiental o alguna característica del medio, como por ejemplo, la relación de especies que viven en suelos ácidos, básicos, que toleran la presencia de metales pesados, etc.

La interpretación de estas listas tiene varias lecturas, por una parte, que la existencia en el terreno de la especie en cuestión, informa que el suelo es de tal o cual característica o bien para una explotación minera en que se presentan ciertas características ambientales o un tipo de gradiente (composición del sustrato: pH, contenido de sales, presencia de metales pesados, contenido de materia orgánica, altitud, pendiente, etc.), se deben utilizar algunas de las especies presentes en esas listas para su recuperación.

En la selección de especies hay que considerar la respuesta de las especies vegetales al medio en recuperación. En principio el medio en el cual van a ser dispuestas (siembra de especies vegetales o plantación) tiene modificadas sus características naturales, y por tanto, la respuesta de las plantas es imprevisible.

4.7.2.2 Esquema Metodológico para la Selección de Especies Vegetales

Las especies que se seleccionan poseen diferentes respuestas a la consecución de objetivos determinados, y también es diferente su respuesta frente a un medio ambiente de características concretas, tanto en lo que se refiere en su capacidad para desarrollarse, como a los efectos que produce sobre el mismo.

El proceso de selección debe abordar entre otros aspectos, la valoración comparativa de las especies respecto a su adecuación al medio, la consecución de los objetivos y las premisas bajo las cuales se concibe la recuperación; de forma que la especie o especies seleccionadas sean las que mejoren las condiciones para alcanzar los objetivos que se plantean.

Para cada zona y para cada objetivo, la naturaleza de los factores y el peso con que intervienen en la valoración o que se consideren limitantes para el empleo de una especie pueden ser muy diferentes, por lo tanto, el método de selección debe ser abierto y flexible. Dado que es mucho más fácil definir la total inadecuación de una especie para su uso en un plan de recuperación minera que definir un grado de adecuación, se plantea el proceso de selección de la siguiente forma:

- Primero, mediante una etapa de preselección con fines de identificación de todas aquellas especies que no cumplen alguno de los requisitos necesarios fundamentales.
- Segundo, con una etapa de valoración, en la que se pretende establecer el grado de adecuación de cada una de las especies seleccionadas en la fase anterior.
- Y por último, una etapa de optimización, en la que mediante la valoración comparativa del grado de adecuación de las distintas especies, sean seleccionadas las más idóneas (puede ser una sola especie vegetal).

4.7.3 Métodos de Implantación de la Vegetación

Los métodos básicos de implantación de la vegetación son la plantación y la siembra. Cada uno de ellos puede desglosarse a su vez en función de la técnica empleada, en otros más concretos:

Plantación:

- Manual: hoyos y surcos
- Mecánica

Siembra:

- En profundidad: en hileras
- Superficial: al voleo, hidrosiembra y aérea

El éxito de la recuperación no sólo se debe a la preparación adecuada del terreno y a la selección de las especies vegetales más idóneas, sino también a la utilización de la técnica de implantación que mejor se adapte a las características de la zona a revegetar.

La selección del método de instauración está condicionado por la topografía (pendiente) y el tamaño de la superficie de actuación, condiciones atmosféricas, la textura (humedad y pedregosidad superficial o porcentaje de afloramientos rocosos), la compactación, la intensidad de los procesos geofísicos, la disponibilidad de agua, el tipo de vegetación seleccionada y las restricciones técnicas (accesibilidad de la maquinaria a la zona) o económicas.

La técnica de implantación y el tipo de material vegetal a emplear también están influidos por la dedicación o el uso posterior de la zona, una vez concluidas las actividades mineras. En general, en los trabajos de recuperación con fines paisajísticos, recreativos y de introducción de la vegetación natural, es conveniente emplear ambas técnicas de siembra y plantación; para inducir una mayor diversidad de hábitats, aumentar la calidad visual de la zona (al utilizar elementos vegetales de características diversas) y favorecer la recuperación a corto y mediano plazo.

4.7.3.1 Plantación

Es la técnica por excelencia para trasplantar especies arbóreas y arbustivas cultivadas generalmente en viveros. La plantación contribuye al desarrollo de comunidades vegetales mediante la introducción de especies pioneras o intermedias de la sucesión vegetal, que de forma natural tardarían mucho tiempo en instalarse. La creación de hábitats naturales, además de favorecer el valor paisajístico de la zona, promueve la diversidad de la fauna y flora del área recuperada. Otras ventajas importantes de la plantación son:

- La germinación y las primeras fases del desarrollo de la planta son controladas en viveros, lo que aumenta la probabilidad de supervivencia de las mismas.
- Se necesita un gasto menor de semillas que si se utilizara el método de siembra.
- Los árboles o arbustos se colocan en el lugar deseado o adecuado.
- Una vez arraigadas las plantas, su sistema radicular protege al suelo de los procesos erosivos.

- La oportunidad de participación de la comunidad rural y educativa en las actividades de revegetación y cuidado del área recuperada.

Por el contrario, la plantación presenta una serie de inconvenientes que a su vez le diferencian de las siembras. Estos son:

- Costo elevado de producción de las plantas en viveros.
- Mayor necesidad de operarios y de equipos.
- Riesgo de pérdida de ejemplares por una inadecuada manipulación de los mismos.

4.7.3.2 Siembra

La siembra consiste en depositar en el terreno, previamente preparado, semillas de las especies seleccionadas para revegetar las zonas a recuperar. Las especies que generalmente se introducen mediante este método son herbáceas vivaces.

Los métodos de siembra más comunes son las hileras y al voleo, que requieren herramientas agrícolas tradicionales, mientras que la hidrosiembra y la siembra aérea necesitan equipos más sofisticados y costosos.

La siembra se realiza sobre superficies más o menos extensas y tiene como objetivo prioritario implantar una cubierta vegetal de bajo crecimiento pero densa, capaz de proteger al suelo de los procesos erosivos y de otros factores perjudiciales. En general, se trata de un método flexible, económico, que requiere escasa mano de obra, con resultados positivos a corto plazo, y muy aconsejable en zonas de difícil acceso.

En cuanto a los inconvenientes o desventajas que presenta este método tenemos:

- Se necesitan grandes cantidades de semilla para compensar las pérdidas causadas por la depredación de animales, las condiciones climáticas y edáficas adversas. Además, la caída de semillas si se siembra en superficies con pendientes y el crecimiento de maleza competitiva.
- En la siembra es difícil predecir cuál será la distribución final de la vegetación.
- La siembra en hileras y al voleo es más exigente que la plantación en cuanto a condiciones climáticas y de sustrato.
- En muchas ocasiones no se dispone de una gran variedad de semillas.

4.8 Evaluación Económica del Proyecto de Restauración

El Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería (2004), expone que la evaluación económica de los trabajos de restauración de los terrenos afectados por la minería es un proceso complejo, ya que dentro de un planteamiento integral está la evaluación económica, y se debe entender como una parte más del análisis de costos y beneficios.

Los conceptos más importantes que deben tenerse en cuenta en la estimación total de los costos de restauración, son los siguientes:

- Estudio de impacto ambiental y/o proyecto de recuperación.
- Costos de recuperación, propiamente dichos, que incluyen la mano de obra, la maquinaria, y los materiales en las operaciones de remodelado de terrenos, obras estructurales, siembra, vivero, etc.

- Programas de seguimiento y control ambiental a mediano y largo plazo.

Por otro lado el factor tiempo introduce un componente de incertidumbre apreciable, pues la legislación ambiental evoluciona y, lo que es más importante, los planes de explotación previstos por las empresas pueden variar, ya que no están elaborados con unos criterios rígidos y estáticos a lo largo de vida de la mina, un ejemplo de esto es la modificación que sufre la interpretación geológica del yacimiento al ampliar las campañas de investigación, el cambio de los criterios de explotación al variar las condiciones económicas, todo ello puede también provocar un cambio en los objetivos y planteamientos de la recuperación.

Otro aspecto que influye de manera significativa es la capacidad para realizar la restauración simultáneamente con la explotación. Si esto es posible se consigue una disminución muy importante en los costos al eliminar la duplicidad de labores o actividades.

Algunas de las principales obras que puede comprender un proyecto de recuperación de terrenos afectados son las siguientes:

- Movimientos de tierras
- Remodelado de taludes
- Rellenos con materiales estériles de la propia explotación
- Excavación de zanjas, y creación de vías de acceso
- Siembras
- Plantaciones
- Mantenimiento
- Inclusión de la comunidad rural y educativa

4.8.1 Precios Unitarios

Los precios unitarios descompuestos, incluyen los relacionados directamente en el año en que se presupuesta el proyecto, con cada una de las partidas que se necesitan para ejecutar el proyecto. Para calcular correctamente los precios unitarios es preciso establecer previamente los costos de la mano de obra, de la maquinaria y los materiales.

- Maquinaria
- Explosivos
- Consumibles
- Reparaciones y mantenimiento
- Mano de obra
- Especies vegetales

Para efectuar una estimación detallada del costo horario de la maquinaria es preciso tener en cuenta los siguientes conceptos:

1. Costos de Funcionamiento:

- a) Consumos**
 - Combustible
 - Lubricantes

- b) Reparaciones**
- c) Neumáticos**
- d) Elementos de desgaste**
- e) Operador**

2. Costos Indirectos:

- a) Amortización**
- b) Cargas indirectas**

En la determinación de los costos de operación se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Características del material: densidad, abrasividad y dureza.
- Experiencia del operador, supervisión, dirección y mantenimiento.
- Factor de utilización, referido a las horas anuales trabajadas.

El procedimiento de cálculo de cada uno de los apartados anteriores, para alguno de los equipos principales empleados en los trabajos de recuperación es el siguiente:

1. Costos de Funcionamiento:

- a) Consumos**
 - Combustible

En general, el consumo horario de combustible de los equipos diesel suele estar indicado en las especificaciones del fabricante. No obstante, es posible estimar el consumo específico para cada tipo de máquina, según las condiciones de trabajo.

El costo horario se obtiene multiplicando la potencia del motor diesel en HP por el consumo específico, correspondiente a las condiciones de trabajo, y por el precio del litro de gasoil (ver tabla 4.4).

Tabla 4.4: Consumo de combustible

EQUIPO	CONSUMO ESPECÍFICO (l/h - HP)		
	CONDICIONES DE TRABAJO		
	FAVORABLES	MEDIAS	DESFAVORABLES
Tractores	0,13	0,15	0,17
Mototraillas autocargables	0,10	0,12	0,14
Mototraillas empujadas	0,09	0,11	0,13
Palas de ruedas	0,08	0,10	0,12
Volquetas	0,05	0,08	0,10

Fuente: Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería (2004).

- Lubricantes

Según Aduvire (1993), la partida de lubricantes está constituida por aceites de motor, transmisión, mandos finales y sistema hidráulico, y grasas consistentes para todos los elementos en contacto metal-metal. La estimación detallada del consumo de estos productos debe efectuarse a partir de la guía de lubricación y mantenimiento de la maquina. No obstante, la forma habitual de estimar éste costo es expresarlo como porcentaje del costo horario de combustible, generalmente entre un 10 % y un 20%.

b) Reparaciones

Incluye todos los gastos relativos a averías del equipo, considerando tanto los materiales como la mano de obra. Este costo se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$[(\text{precio de adquisición} - \text{precio de neumáticos}) / (\text{horas de vida} \times 100)] \times Fr$$

Donde Fr = factor de recuperación

Los valores medios del factor de reparación que se consideran para los diferentes equipos se recogen en la tabla 4.5:

Tabla 4.5: Valores medios del factor de reparación

CONDICIONES DE TRABAJO	DURAS	MEDIAS	BUENAS
EQUIPO	FACTORES DE REPARACIÓN		
Perforadoras	0,7	0,9	1,1
Excavadoras hidráulicas	1,0	1,2	1,5
Palas con ruedas	0,6	0,8	1,0
Tractores	0,8	1,3	1,8
Volquetas	0,7	0,9	1,2

Fuente: Aduvire, 1993.

c) Neumáticos

Para la determinación del costo de los neumáticos, se utilizan las vidas medias, en horas de trabajo, en el caso de trabajos suaves, la inutilización de los neumáticos se produce por desgaste. Sin embargo, los grandes equipos, cuando manipulan roca, pueden sufrir fallos prematuros por corte. Para un cálculo estimativo pueden usarse las estimaciones medias de la tabla 4.6:

Tabla 4.6: Duración media para los neumáticos

CONDICIONES DE TRABAJO	DURAS	MEDIAS	BUENAS
EQUIPO	Duración (h)		
Palas de rueda	4	3.000 - 3.500	1.000 - 2.500

Camiones	4	3.000 - 3.500	2.000 - 2.500
----------	---	---------------	---------------

Fuente: Aduvire, 1993.

d) Elementos de Desgaste

La duración de los elementos de desgaste depende de diversos factores: la abrasividad de las rocas y suelos, los impactos a que se someten y las condiciones de trabajo. Esta última condición a su vez está influenciada por las características de los materiales de construcción, la supervisión de la operación y el mantenimiento de los equipos.

Tabla 4.7: Duraciones medias de los elementos de desgaste de maquinarias para movimientos de tierra

CONDICIONES DE TRABAJO	DURAS	MEDIAS	BUENAS
Piezas de desgaste	Duración (h)		
Excavadora hidráulica-dientes	700	400	200
Palas de ruedas – dientes	250	150	90
Tractores			
Punta	150	30	15
Protector	1500	450	150
Cuchilla	300	200	100

Fuente: Aduvire, 1993.

e) Operador

El costo del operador debe incluir el salario, la seguridad social a cargo de la empresa y las vacaciones. Debe tenerse especial cuidado al calcular el costo horario, pues si el operador está en plantilla de la empresa, se deberá partir del costo anual, que es gasto en el que se incurre, independientemente del número de horas que trabaje el equipo. (Ley Orgánica del Trabajo, 1997).

2. Costos Indirectos:

a) Amortización

Está determinada por la pérdida del valor producida por el paso del tiempo y por el deterioro, y merma del valor subsiguiente, generada por el uso.

La suma a amortizar se calcula habitualmente restando al precio de adquisición el valor residual y el valor de los neumáticos; si es que la máquina los utiliza. Existen numerosos métodos de cálculo de la amortización, pero en lo relativo a maquinaria se suele aplicar el método lineal que consiste en dividir la suma a amortizar por el periodo de amortización expresado en horas.

b) Cargas Indirectas

Incluyen el resto de las partidas. Los intereses del capital, son las cantidades anuales que se deben cargar al costo de la maquinaria en concepto de las cantidades que se hubiesen obtenido a partir del capital invertido en la misma, si en lugar de adquirir ésta se hubiese utilizado el dinero para otro tipo de negocio.

Los conceptos mencionados como cargas indirectas dependen directamente del precio de la máquina, y pueden evaluarse como un porcentaje del valor de la misma. El procedimiento de cálculo más empleado es el de la inversión media anual que se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\text{Inversión Media Anual} = [(\text{precio de adquisición} (1 + N)) / 2N]$$

Siendo N el número de años en que se amortiza el equipo.

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este trabajo inicialmente fue de tipo exploratorio, ya que hay que realizar una serie de toma de muestras a fin de conocer todas las variables que intervienen en la estabilidad de taludes. Finalmente la investigación se tornará de tipo correlacional y de campo ya se le dará un enfoque cuantitativo para luego realizar una serie de cálculos que permitan reajustar los resultados.

El diseño de la investigación es de tipo experimental puro ya que se manipularán las variables independientes a fin de encontrar el patrón que mejor se ajuste a la realidad del yacimiento para de esta forma encontrar la solución técnica-económica óptima.

La realización de esta investigación se desarrolló en tres (3) etapas:

- La primera etapa estuvo enfocada en la revisión bibliográfica y el trabajo preliminar de oficina y campo a los fines de: recopilar información técnica básica sobre la recuperación de zonas afectadas por la minería y planes de recuperación ambiental; levantar información de aspectos descriptivos; observar directamente la zona afectada y reconocer geológicamente los puntos de contacto entre la caliza y el estéril.
- La segunda etapa, entre agosto y octubre 2010, consistió en calcular los volúmenes del área que va a ser recuperada, utilizando para ello el software “Autocad 2008”. En ésta etapa se realizó un análisis previo utilizando la información suministrada por la FNC, sobre los parámetros geotécnicos de estabilidad de taludes utilizados en la Cantera El Melero, para realizar posteriormente una propuesta de control de drenajes y estabilidad de masa de la zona afectada.
- Finalmente, en la tercera etapa se realizó el procesamiento de la información y la elaboración de una propuesta geoambiental, con un

modelaje de recuperación del talud lado sur con la ayuda del software *Arcgis 9.3*, la cual incluye la revegetación del área afectada.

5.1 Reserva Mineral y Vida Útil

5.1.1 Determinación de la Reserva Mineral

Los perfiles elaborados para el cálculo tienen una dirección N 65 E, y se encuentran en el anexo N° 2, donde se muestran cada una de las áreas de los cinco (5) perfiles elaborados. Los resultados obtenidos se presentan en el anexo 4. El volumen total de reserva mineral a ser recuperada en el área afectada, resultó en 284.008 ton; asumiendo el valor del peso específico de la caliza de la cantera El Melero de 2,5 ton/m³.

5.1.2 Vida Útil de la Cantera

Para la determinación de la vida útil, se empleó el método de los perfiles o secciones paralelas a partir de la construcción de doce (12) secciones geológicas con orientación N 65 E y 30 metros de separación (ver anexo 1), que cubrieron el área de afloramiento de la caliza y el sector norte-oeste donde el material calcáreo se encuentra debajo de una capa de esquistos menor de 40m.

El método de los perfiles aplicó en la medición de las áreas de cada sección, para luego aplicar la fórmula planteada en la sección 4.2.

Según los resultados obtenidos, señalados en el anexo 3, pueden ser observados los volúmenes de reserva mineral de la cantera El Melero en función de la elevación

topográfica para cada sección transversal del yacimiento, así como los volúmenes de estéril a remover para extraer el mineral.

En resumen, podemos observar que la extracción de estéril, se extenderá hasta el 2012 y finalizará esta actividad. Si la producción de caliza se optimizara a razón de 35.000 ton/mes, la vida útil de la cantera sería de 6 años y medio y los últimos años de vida sólo se trabajaría con caliza. Sin embargo debe recordarse que la extracción de estéril es una condición ineludible para la explotación de la caliza.

Por tal motivo, se recomienda amortizar los costos asociados a la remoción de estéril y la recuperación ambiental a lo largo de la vida útil de la cantera aún cuando el mismo sea extraído antes de finalizar la explotación. Esto con la finalidad de disminuir el costo anual asociado.

5.2 Estabilidad de Taludes

Las labores de explotación, puede generar inestabilidad de los taludes, debido principalmente a los movimientos de tierra y a efectos erosivos por acción del viento o escorrentías.

Es por ello que se emplearon varias técnicas para prevenir los impactos por inestabilidad de taludes, no obstante, la primera recomendación sugerida es la correcta aplicación de los parámetros establecidos en el diseño de explotación y su estabilización mediante la revegetación inmediata de los taludes que se encuentran en el *pit* final.

El diseño de un talud consistió en definir su altura, pendiente, elementos topográficos con base en parámetros geotécnicos; de acuerdo al desempeño de los taludes generados en la misma litología característica de la formación geológica ya que han

dado buen resultado, como se puede apreciar en la figura 5.1 de la zona norte de la cantera. Para ello se consideró la geología de la zona, en especial la geomecánica y la geología estructural al considerar las estructuras o discontinuidades en el macizo rocoso y el perfil de meteorización.



Figura 5.1: Taludes zona norte cantera El Melero
Fuente: Elaboración propia.

Los elementos de diseño geométrico considerados para la ejecución del presente plan, se presentan en la figura 5.2; tomando como referencia la experiencia en diseño de minas similares que representa una buena guía. Se consideraron los parámetros establecidos en el plan de explotación del año 2006, elaborado por la empresa Lafarge para el diseño de explotación de la cantera El Melero, donde se establece:

- Ángulo de talud final (β) de 76° , el cual puede variar según el contacto litológico, procurando extraer el mayor volumen posible de caliza.
- Ángulo de trabajo (α) de 45° .

- Ancho de berma de estabilización y seguridad de 7,5 m.
- Altura del banco se determina generalmente en función del alcance de los equipos de carga y por condiciones de seguridad en la explotación. Atendiendo ambas condiciones se determinó la implementación de un banco de 10m, el cual aunado a una buena proyección de las voladuras sobre el nivel de trabajo, debería ser óptimo para trabajar con excavadoras Komatsu PC300 y Doosan Solar500.

El plan sugerido con un sistema de bancos descendentes, tiene la doble misión de completar la meta del plan de explotación para la cantera El Melero desde el 2011 hasta 2014, con una meta de producción anual de 360.000 Ton de caliza, y a su vez permite la revegetación inmediata de los taludes finales, conforme se desciende de nivel para la explotación del banco inferior subsiguiente. La figura 5.2, muestra los parámetros de diseño de talud para la cantera El Melero.

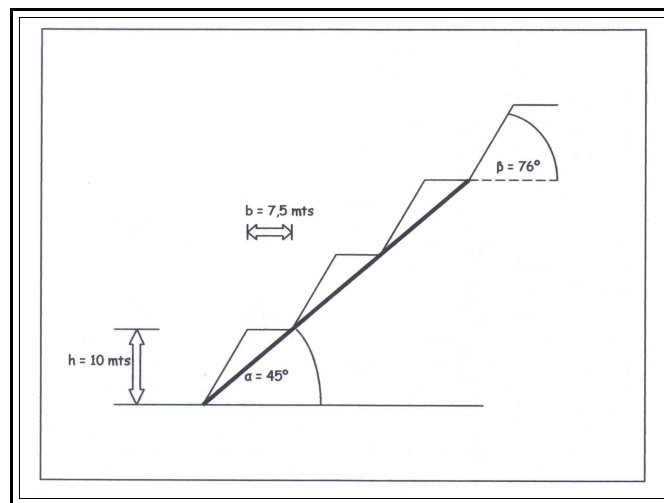


Figura 5.2: Parámetros de diseño de talud para la cantera El Melero
Fuente: Plan de Explotación Cantera El Melero, Lafarge 2006.

Una vez estudiado el talud se puede pasar al objetivo final que es el diseño del sistema de estabilización, incluyendo los planos y especificaciones de diseño.

Litológicamente, lo dominante en la cantera, es la presencia de esquistos cuarzo-feldespáticos-micáceos, intercalados con esquistos grafitosos, calcáreos, en general muy plegados, con abundantes venas y vetas de calcita blanca y cuarzo. La roca se muestra con diferentes grados de meteorización.

La litología más importante la constituye la roca caliza, la cual se presenta como una roca densa, cristalina, a veces con ligera textura arenosa. La caliza tiene condición física de roca sana y dura de color predominante gris medio a oscuro.

Generalmente en las cercanías del contacto con los esquistos, la caliza desarrolla una estructura esquistosa, o cierta laminación e intercalación de capas delgadas de caliza y esquistos de semejante espesor, en un espacio de aproximadamente 10 a 20 m.

Estructuralmente predomina una orientación general nor-oeste, con valores que varían entre N 15 – 70 O, con buzamiento al suroeste, entre 15 y 60 grados; sin embargo, localmente se observan sitios con fuerte plegamiento que modifica esta matriz estructural.

Debe tenerse en cuenta que en taludes, nunca existen diseños detallados inmodificables y que las observaciones que se hacen durante el proceso de construcción tienden generalmente, a introducir modificaciones al diseño inicial.

Al construir las terrazas, el talud puede quedar dividido en varios taludes de comportamiento independiente, los cuales a su vez deben ser estables. El terraceo además de controlar la erosión facilita el establecimiento de la vegetación. La altura de los bancos es de 10 m, con una pendiente transversal o de bombeo de 1 o 2% con la finalidad de conseguir un desagüe efectivo que permita conducir el agua hacia una

cuneta, para el control del agua superficial, tal como se muestra en la figura 5.3. El sistema de cunetas a su vez debe conducir a una estructura de recolección y entrega con sus respectivos elementos de disipación de energía.

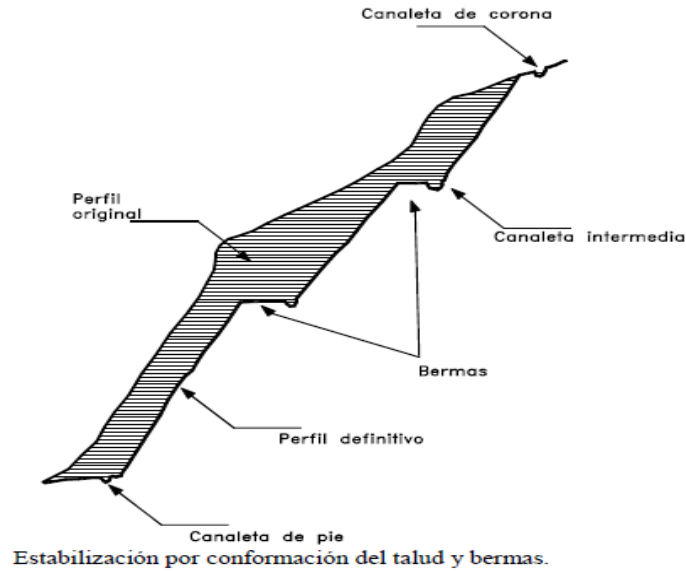


Figura 5.3: Estabilización por conformación de taludes y bermas.

Fuente: Elaboración propia.

Para estabilizar el talud sur se propone la conformación de seis (6) taludes, que van desde la cota $N\pm 640$ hasta la cota $N\pm 590$; para lograr un equilibrio de masas, reduciendo las fuerzas que producen el movimiento. El terraseo de la superficie además de darle estabilidad a los taludes, permite disminuir las infiltraciones canalizando las aguas para controlar la erosión. El ritmo de avance del plan de estabilización vendrá dado por el ritmo de producción de la cantera, es decir, una vez que en el talud sur se alcance la cota $N\pm 620$, el siguiente paso es en la zona sur junto con los niveles de producción de la zona norte.

A continuación se muestran el plano con la última actualización topográfica de la cantera del mes de marzo 2009 (figura 5.4) y los planos donde se observan los pit final del 2011 al 2013 (figuras 5.5, 5.6, y 5.7 respectivamente).

**AQUÍ VAN 4 PLANOS DE AUTOCAD
CADA UNO EN UNA HOJA TAMAÑO
CARTA**

(PARA QUE LO TOMES EN CUENTA POR LA NUMERACION DE LAS PAGINAS, ESTOS PLANOS
LOS IMPRIMO DE UN ARCHIVO DE AUTOCAD)

5.3 Diseño de Drenajes

El procedimiento aplicado consistió en la:

- Recopilación bibliográfica sobre construcción de obras hidráulicas o de drenajes, según la literatura técnica.
- Determinación del periodo de retorno.
- Aplicación del método de Gumbel, que consiste en:
 - Seleccionar los máximos anuales de precipitación para las diferentes duraciones de lluvia que se desea analizar.
 - Obtener información a partir de los anuarios climatológicos publicados por la Dirección Estatal Ambiental y la División de Cuencas Hidrográficas del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales.
 - Verificar que los datos suministrados correspondan a una estación ubicada a una distancia menor de 20 Km de la zona de estudio. En ellos se dan seis tablas para las duraciones de: 1, 3, 6, 9, 12 y 24 horas.
 - Verificar que en cada tabla aparecen los máximos mensuales registrados correspondientes al año indicado. El último valor anotado es el extremo de la serie de 12 valores mensuales, llamado Extremo Anual. Los valores dados se expresan en milímetros de agua para las duraciones indicadas.
 - Construir con estos valores las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, las cuales determinan el periodo de retorno a utilizar para el diseño de la sección transversal de los drenajes.

- Determinar área de influencia de aporte de agua de escurrimiento sobre el drenaje.
- Calcular las dimensiones de los drenajes, considerando las precipitaciones de la zona.

5.3.1 Diseño de Drenajes

Son numerosos los factores que intervienen en la forma y tamaño de los canales; se requiere conocer la cantidad de agua (caudal) que llegará al canal y las dimensiones de la estructura que va a conducirla, para que sea económica su construcción y mantenimiento. También se debe considerar la maquinaria que se tiene disponible para su construcción y posterior mantenimiento; la importancia de cada uno de ellos dependerá del proyecto específico.

5.3.2 Cálculo de Descarga de Diseño

Se utilizó la fórmula racional planteada en el punto 4.5.3, del capítulo anterior, para estimar el volumen de agua que llegará sobre el canal en un determinado instante.

Para el diseño de canales de la cantera se asumió el coeficiente de escorrentía como 0,65 ya que las vías internas de la cantera presentan una cobertura sin vegetación y las pendientes del terreno no superan el 20% en promedio.

El parámetro de intensidad de lluvia (i), se calculó mediante la gráfica de Intensidad - Duración – Frecuencia (IDF) y se comparó con el valor correspondiente a la región específica del Estado Miranda.

5.4 Precipitación

5.4.1 Datos de Intensidad de Precipitación

Los valores presentados en los anuarios climatológicos, corresponden a los análisis de veinticuatro (24) horas continuas de lluvia registradas en la estación meteorológica de Lomas de Betania-Cua. Los reportes presentados en los anuarios climatológicos relacionados a la cantidad de agua caída durante las precipitaciones se muestran como anexo 3.

5.4.2 Cálculo de las Curvas IDF

Con la finalidad de determinar las curvas de IDF, se solicitaron al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, los datos de intensidad de lluvia para tiempos restringidos, particularmente las intensidades para una (1) hora, tres (3) horas, seis (6) horas, nueve (9) horas y doce (12) horas. Estos reportes y los valores máximos de precipitaciones para la estación meteorológica de Lomas de Betania-Cua; Estado Miranda, se muestran en la tabla 5.1, respectivamente.

En relación a la metodología utilizada, corresponde al libro de Carreteras publicado Carciente(1985). Para la determinación de las curvas IDF (Ley de Gumbel), se realizaron las tablas N°: 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6, los cuales presentan los valores de promedios, desviaciones y frecuencias de las láminas de agua precipitadas, en la estación meteorológica en Lomas de Betania-Cua, ubicada en la latitud 10° 11' 4.07

'' Norte, longitud 66° 53' 49.63'' Oeste y elevación 299 m.s.n.m. en los distintos tipos de tiempos considerados.

Tabla 5.1: Valores de intensidad de precipitación (mm)

Estación meteorológica de Lomas de Betania-Cua estado Miranda.

Años	1 Horas (mm)	3 Hora (mm)	6 Horas (mm)	9 Horas (mm)	12 Horas (mm)	24 Horas (mm)
1999	46	48	51	51	51	78,16
2000	29	40	40	41	49	95,53
2001	29	38	42	42	42	63,35
2002	49	56	56	56	65	74,53
2003	36	46	46	46	46	83,14
2004	78	87	98	98	98	101,52
2005	33	36	34	34	34	81,48
2006	53	56	57	57	57	74,11
2007	34	51	46	54	54	77,32
2008	33	36	41	65	70	72,87
2009	42	42	43	43	43	87,12

Fuente: Elaboración propia.

Luego fueron calculados los parámetros de Gumbel, $1/a$ y u , para los datos de intensidad de precipitaciones para los tiempos de 0,5; 1; 2; 3; 6; 9 horas respectivamente, mediante las formulas:

$$1/a = 0,779696 * \sigma \text{ y } u = x - 0,450047 * \sigma$$

Se calcularon los valores de sumatoria, media y desviación, cuyos valores obtenidos se ven reflejados en las tablas N° 5.4, 5.5 y 5.6 que se observan a continuación:

Tabla 5.2: Resultados de la determinación de curvas IDF para la cantera El Melero

Año	1 Hora (mm)	Decreciente	Xi (mm)	Xi^2 (mm^2)	Frecuencias
1999	46	1	4,00	16,00	0,05
2000	29	2	14,09	198,53	0,14
2001	29	3	14,09	198,53	0,23
2002	49	4	8,91	79,39	0,32
2003	36	5	7,09	50,27	0,41
2004	78	6	34,91	1218,71	0,50
2005	33	7	10,09	101,81	0,59
2006	53	8	12,91	166,67	0,68
2007	34	9	9,09	82,63	0,77
2008	33	10	8,09	65,45	0,86
2009	42	11	0,09	0,01	0,95
Σ	462,00		Σ	2177,98	
Media	42,00		Media	198,00	
Desviación	14,43				
Parámetros	1/a	11,25			
Ley de Gumbel	U	35,51			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.3: Resultados de la determinación de curvas IDF para la cantera El Melero

Año	3 Horas (mm)	Decreciente	Xi (mm)	Xi² (mm²)	Frecuencias
1999	48	1	0,18	0,03	0,05
2000	40	2	8,82	77,79	0,14
2001	38	3	8,82	77,79	0,23
2002	56	4	6,18	38,19	0,32
2003	46	5	2,82	7,95	0,41
2004	87	6	37,18	1382,35	0,50
2005	36	7	13,82	190,99	0,59
2006	56	8	9,18	84,27	0,68
2007	51	9	1,18	1,39	0,77
2008	36	10	12,82	164,35	0,86
2009	42	11	6,82	46,51	0,95
Σ	536,00		Σ	2071,64	
Media	48,73		Media	188,33	
Desviación	14,64				
Parámetros	1/a	11,42			
Ley de Gumbel	U	42,14			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.4: Resultados de la determinación de curvas IDF para la cantera El Melero

Año	6 Horas (mm)	Decreciente	Xi (mm)	Xi² (mm²)	Frecuencias
1999	51	1	0,55	0,30	0,05
2000	40	2	10,55	111,30	0,14
2001	42	3	8,55	73,10	0,23
2002	56	4	4,45	19,80	0,32
2003	46	5	4,55	20,70	0,41
2004	98	6	48,45	2347,40	0,50
2005	34	7	15,55	241,80	0,59
2006	57	8	7,45	55,50	0,68
2007	46	9	3,55	12,60	0,77
2008	41	10	8,55	73,10	0,86
2009	43	11	8,55	73,10	0,95
Σ	554,00		Σ	3028,73	
Media	50,36		Media	275,34	
Desviación	17,24				
Parámetros	1/a	13,44			
Ley de Gumbel	U	42,61			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.5: Resultados de la determinación de curvas IDF para la cantera El Melero

Año	9 Horas (mm)	Decreciente	Xi (mm)	Xi² (mm²)	Frecuencias
1999	51	1	3,73	13,91	0,05
2000	41	2	10,73	115,13	0,14
2001	42	3	11,73	137,59	0,23
2002	56	4	1,27	1,61	0,32
2003	46	5	7,73	59,75	0,41
2004	98	6	45,27	2049,37	0,50
2005	34	7	18,73	350,81	0,59
2006	57	8	4,27	18,23	0,68
2007	54	9	1,27	1,61	0,77
2008	65	10	12,27	150,55	0,86
2009	43	11	11,73	137,59	0,95
Σ	587,00		Σ	3036,18	
Media	53,36		Media	276,02	
Desviación	17,24				
Parámetros	1/a	13,44			
Ley de Gumbel	U	9,48			

Fuente: Elaboración propia.

5.4.3 Período de Retorno

Con la finalidad de obtener el ajuste de las curvas IDF para los datos obtenidos, se realizó la tabla 5.8. Los valores de b obtenidos para las diferentes intensidades escogidas, varían entre 2,33 años y 100 años, según la tabla 5.9. Sin embargo, basado en la vida útil del proyecto en estudio aproximadamente de 15 años, sólo se analizaron las curvas IDF para períodos de retorno de hasta 50 años.

Tabla 5.6: Resultados de la determinación de curvas IDF para la cantera El Melero

Año	12 Horas (mm)	Decreciente	Xi (mm)	Xi² (mm²)	Frecuencias
1999	51	1	5,82	33,87	0,05

2000	49	2	6,82	46,51	0,14
2001	42	3	13,82	190,99	0,23
2002	65	4	11,18	124,99	0,32
2003	46	5	9,82	96,43	0,41
2004	98	6	43,18	1864,51	0,50
2005	34	7	20,82	433,47	0,59
2006	57	8	2,18	4,75	0,68
2007	54	9	0,82	0,67	0,77
2008	70	10	15,18	230,43	0,86
2009	43	11	13,82	190,99	0,95
Σ	609,00		Σ	3217,64	
Media	55,36		Media	292,51	
Desviación	17,51				
Parámetros	1/a	13,65			
Ley de Gumbel	U	47,49			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.7: Valores de b para diferentes frecuencias

Valores de b para Distintas Frecuencias	
Frecuencia (años)	b
2,33	0,5790
5	14,999
10	22,502
25	31,985
50	39,019
100	46,001

Fuente: Carciente, 1985

Tabla 5.8: Resultados de parámetros de Gumbel

1 Hora (mm)			
T retorno (años)	Variable reducida	Parámetro Gumbel	Valor eje Y (mm)
2.33	0,58	6,51	42,02
5	1,50	16,87	52,38
10	2,25	25,32	60,82

9 Horas (mm)			
T retorno (años)	Variable reducida	Parámetro Gumbel	Valor eje Y (mm)
2.33	0,58	7,78	1,92
5	1,50	20,16	3,29
10	2,25	30,25	4,41

15	2,62	29,51	65,02
20	2,97	33,42	68,92
25	3,20	35,99	71,49
50	3,90	43,90	79,40
100	4,60	51,77	87,27
3 Horas (mm)			
T retorno (años)	Variable reducida	Parámetro Gumbel	Valor eje Y (mm)
2.33	0,58	6,61	16,25
5	1,50	17,12	19,75
10	2,25	25,69	22,61
15	2,62	29,95	24,03
20	2,97	33,91	25,35
25	3,20	36,52	26,22
50	3,90	44,55	28,90
100	4,60	52,53	31,56
6 Horas (mm)			
T retorno (años)	Variable reducida	Parámetro Gumbel	Valor eje Y (mm)
2.33	0,58	7,78	8,40
5	1,50	20,16	10,46
10	2,25	30,24	12,14
15	2,62	35,25	12,98
20	2,97	39,91	13,75
25	3,20	42,98	14,27
50	3,90	52,44	15,84
100	4,60	61,83	17,41

15	2,62	35,26	4,97
20	2,97	39,93	5,49
25	3,20	43,00	5,83
50	3,90	52,45	6,88
100	4,60	61,85	7,93
12 Horas (mm)			
T retorno (años)	Variable reducida	Parámetro Gumbel	Valor eje Y (mm)
2.33	0,58	7,90	4,62
5	1,50	20,47	5,66
10	2,25	30,72	6,52
15	2,62	35,80	6,94
20	2,97	40,54	7,34
25	3,20	43,66	7,60
50	3,90	53,26	8,40
100	4,60	62,80	9,19
24 Horas (mm)			
T retorno (años)	Variable reducida	Parámetro Gumbel	Valor eje Y (mm)
2.33	0,58	4,87	3,37
5	1,50	12,61	3,69
10	2,25	18,92	3,95
15	2,62	22,05	4,08
20	2,97	24,97	4,21
25	3,20	26,89	4,29
50	3,90	32,80	4,53
100	4,60	38,69	4,78

Fuente: Elaboración propia

Luego se graficaron las curvas IDF de dicha estación meteorológica (ver figura 5.8) para distintos tiempos de retorno entre 2,33 y 50 años.

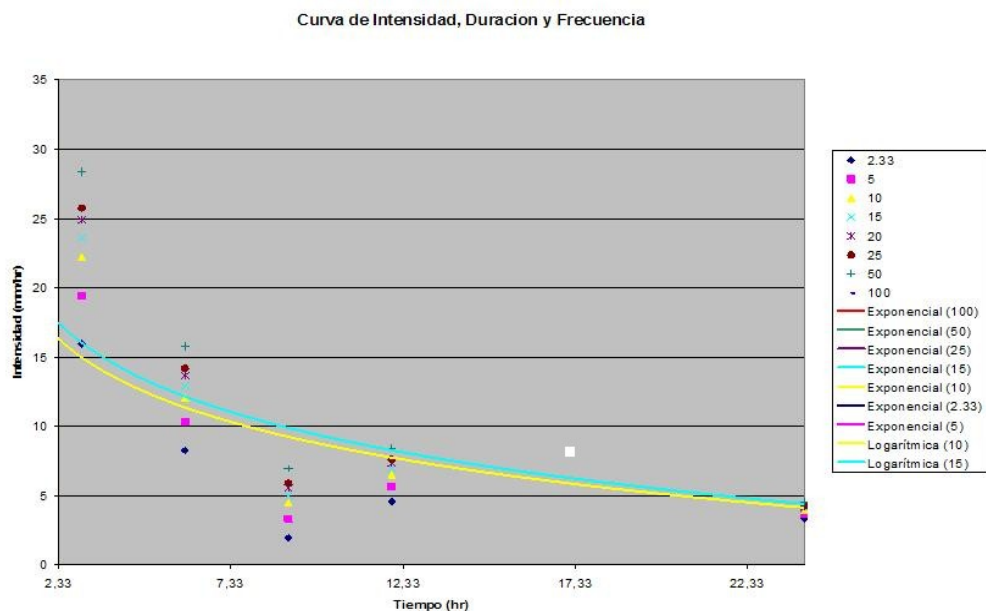


Figura 5.8: Curvas de intensidad, duración y frecuencia con registros de la E.M. Lomas de Betania

Fuente: Elaboración propia

Después de haber obtenido los valores de coeficiente de escorrentía y de intensidad de lluvia, para 3 horas, para un diseño de 10 años considerando la vida útil de la cantera, se calculó el caudal (Q), mostrados en la tabla 5.9, que se observa a continuación:

Tabla 5.9: Resultados de la determinación del Caudal (Q)

C	I (mm/h)	A (Km ²)	Q (m ³ /s)
0,65	28,38	0,12	0,61
		0,10	0,51

Fuente: Elaboración propia

5.4.4 Diseño de Canal de Escorrentía

El agua que cae sobre una calzada escurre superficialmente sobre ella, y como consecuencia de la pendiente, del bombeo o del peralte, fluye transversalmente o longitudinalmente.

El diseño de la geometría de los canales de conducción de aguas de escurrimiento, pueden ser de tres (3) tipos, en cuanto a su sección transversal o longitudinal: circulares, triangulares y trapezoidales y pueden o no estar revestidas.

El caudal proporcionado por una canaleta es dado por:

$$Q = V * A$$

Para dicho diseño, se calcularon las dimensiones de la estructura y para calcular la velocidad del agua se utilizó la formula de *Manning*:

$$V = 1,49/n (R^{2/3} S^{1/2})$$

Las velocidades dentro del canal se calcularon tomando los caudales obtenidos en la tabla de coeficiente de rugosidad del canal (n) donde la velocidad máxima – pendiente fue de 2,40 (m/s) y los resultados obtenidos de las diferentes velocidades de agua para la cantera, se muestran en la tabla 5.10.

Tabla 5.10: Resultados de la determinación de la velocidad del agua

Q=V*A	S (%)	Vmax	R	N	V (m/s)	A (m2)
	0,12	2,4	0,0595	0,022	3,58	0,14
						0,17

Fuente: Elaboración propia

Se calcularon los valores de área mojada, perímetro mojado, ancho total para los datos de caudal, velocidad máxima y gradiente de la sección longitudinal mostrados en la tabla 5.11.

Tabla 5.11: Resultados de la determinación de los elementos geométricos para secciones triangulares para la cantera El Melero

Elementos Geométrico de la Sección de Canales Triangulares									
Q(m³/s)	Z	N	S	Vmax(m/s)	R	A (m²)	P (m)	Y (m)	T (m)
0,61	1	0,022	0,25	2,4	0,34	0,14	0,63	0,46	0,92
0,51						0,17	0,75	0,51	1,01

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber determinado que el canal recibirá 0,61 m³/s de agua, se calcularon las dimensiones de la estructura adecuada para conducirla, tal como se muestra en la figura 5.9:

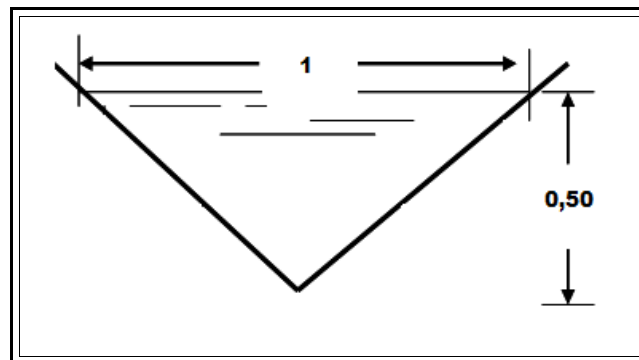


Figura 5.9: Propuesta de diseño geométrico de canales triangulares para la cantera El Melero todas las medidas en metros

Fuente: Elaboración propia

Tomando como valor la velocidad máxima del flujo, $V_{max} = 2,40$ m/s, valor éste obtenido de la Tabla 4.3, correspondiente a los canales construidos en roca.

Por lo tanto:

$$S = Q / V_{max}$$

$$S = 0,61 \text{ m}^3/\text{s} / 2,40 \text{ m/s}$$

$$S = 0,25 \text{ m}^2$$

Después de obtenida la sección mínima requerida para el canal propuesto, se procede a la elaboración de diferentes opciones que cumplan con la velocidad máxima permitida a través de la fórmula de Manning, descrita en esta sección. La sección considerada para el canal se muestra en la Figura 5.10

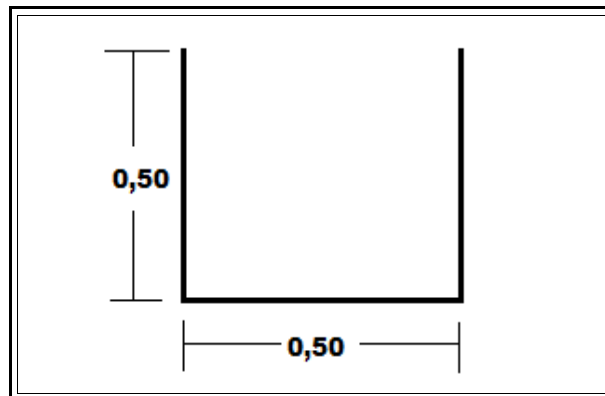


Figura 5.10: Propuesta de diseño geométrico de zanjas de coronación para la cantera El Melero todas las medidas en metros

Fuente: Elaboración propia

5.5 Metodología para Revegetación

Para poder abordar con éxito la revegetación de las zonas alteradas por la explotación de la cantera de caliza, se consideró en primer lugar las precarias condiciones en que queda el terreno tras el cese de las operaciones o mientras duren éstas. En el mejor de los casos, el sustrato perdió la mayor parte de sus cualidades edáficas y en la mayoría de ellos, el sustrato desaparece para quedar en su lugar una serie de materiales esqueléticos (roca, estériles, etc.) incapaces de sustentar una cubierta vegetal.

De manera simultánea, también se tomó en cuenta el uso o usos posteriores a que vaya a ser dedicado el área una vez cese la actividad. La elección del uso más adecuado debe estar regida por las condiciones medioambientales y sociales del entorno.

Para que se puedan cumplir los objetivos antes mencionados fue necesario conocer los principales problemas que se presentan respecto al establecimiento de la vegetación, y encaminar la solución de los mismos en función de las características específicas de la explotación (dedicación, condiciones económicas, etc.) y las particularidades propias de cada una de las situaciones diferentes existentes dentro de la cantera.

En este proyecto, se ha detectado una serie de problemas o factores limitantes que pueden agruparse en dos clases: problemas de tipo físico (disponibilidad de agua, la fauna existente, inestabilidad, etc.) y problemas de tipo químico (carencia de elementos nutritivos indispensables para el desarrollo de la vegetación). También fueron considerados los inconvenientes para la revegetación, del exceso de polvo y

los riesgos debidos a las posibles vibraciones originadas como consecuencia de las voladuras.

Problemas Físicos

El sustrato procedente de la cantera El Melero no tiene ni la composición textural ni la suficiente materia orgánica para agregar materiales, que confieran al suelo las condiciones óptimas de drenaje y nutrientes. Los materiales granulares son bastantes gruesos, formados por arenas y fragmentos de roca principalmente.

Los materiales gravosos con diámetro superior a 10 mm no tienen capacidad de retener agua ya que los huecos que quedan entre ellos son muy gruesos, y el agua penetra rápidamente sin tener tiempo de quedar retenida. El agua al pasar también arrastra buena parte de los elementos nutritivos que se pierden en capas inferiores.

Generalmente la capacidad de retener agua es menor en la superficie que en el interior de los taludes. Esto se debe a la mayor cohesión entre los materiales existentes en profundidad y al aumento de la temperatura superficial (ésta a su vez está condicionada por la exposición del talud a la radiación solar).

Los frentes donde se produce la extracción de caliza propiamente dicha, son paredes rocosas prácticamente verticales (inclinación 76°) y de altura 10 m. Estos factores son adversos al desarrollo de cualquier tipo de cubierta vegetal al no existir un sustrato edáfico capaz de sustentarla.

Dentro de las vías de acceso y las rampas de la cantera, el principal problema es la elevada compactación de los materiales en la rasante lo que produce una disminución del tamaño de los poros y puede dar lugar a una infiltración restringida y a la

saturación acelerada del suelo durante las precipitaciones y en consecuencia el escurrimiento del agua en mayor volumen.

A continuación se enumeran posibles soluciones a las limitaciones encontrados para la ejecución del plan de revegetación:

1. Condicionar los bancos en el área a recuperar mediante: nivelación, escarificado superficial, drenajes.
2. Aportar materiales granulares finos: arenas finas, limos y arcillas.
3. Aportar de materia orgánica. Es quizás la actuación más importante en la preparación del terreno, ya que condiciona el funcionamiento futuro del nuevo sustrato. Al igual que en el punto 2, supone unos costos muy elevados, por lo que es más lógico conseguir, en la medida que se pueda, materiales en las proximidades de la explotación. Sin embargo dichos materiales deben conservar los niveles de fertilidad adecuados.
4. Fertilización con abonos naturales, compostados preparados en el área próxima a la cantera.

5.6. Criterios de Selección de Especies para Revegetación.

Una vez que en la zona afectada, en la cual se llevará a cabo la revegetación, se alcanzan las condiciones técnicas, vistas en la sección 4.7.2, necesarias para garantizar el éxito de la misma, se procederá a la selección de las especies a implantar.

Fueron dos (2) los temas que se tuvieron presente para seleccionar las especies vegetales:

- Condiciones ecológicas del entorno
 - Las condiciones climáticas de la zona, temperatura y distribución de las precipitaciones (indica el grado de humedad del suelo necesario para llevar a cabo una buena revegetación).
 - Naturaleza del sustrato, de la cual depende la capacidad de las distintas especies para vivir en las condiciones de pH, profundidad del suelo, disponibilidad de agua, exigencia de nutrientes, salinidad, compactación, etc.

- Características y cualidades de las especies

Se debió contemplar la aptitud de cada una de las especies vegetales frente al ambiente en el que se van a implantar. Algunas de estas características son: grado de protección, altura de la planta, longevidad, productividad, rapidez de germinación, arraigo en el trasplante, capacidad de enraizamiento, hábitos de crecimiento, disponibilidad de las especies, resistencia a plagas, enfermedades y competitividad.

De esta forma son más adecuadas aquellas especies de bajo crecimiento y rizomatosas, es decir las que tienen capacidad para estabilizar las capas superficiales e iniciar la formación del nuevo suelo, las que son capaces de propagarse fácilmente por semilla o de forma vegetativa y las que tienen facilidad para fijar nitrógeno atmosférico, como las especies de tipo leguminosas.

Se realizó una evaluación respecto a la disponibilidad de las especies seleccionadas, ya no siempre es posible encontrarlas en viveros, como sucede generalmente con las especies silvestres cuyas semillas difícilmente se comercializan.

Por esta razón se planteó la creación de un vivero que estaría ubicado detrás del área de enlonado de gandolas (ver figura 5.11) y cuyas dimensiones estarán en el orden de los 20 x 50 m. El terreno es plano y de fácil acceso, lo que permitirá contar con suministro de agua permanente para las actividades de riego con camiones cisterna. En cuanto a la preparación del terreno bastará con colocar una capa de 5 cm de arena en el área destinada a las bolsas donde se plantaran las semillas, así como piedra picada en el resto del terreno, con el fin de mejorar el drenaje en el mismo.



Figura 5.11: Área propuesta para la ubicación del vivero, parte trasera del área de enlonado.

Fuente: Elaboración propia

Para efectos de estabilidad en los taludes, se ha pensado en la plantación de especies rastreras. El éxito de la revegetación depende en gran medida de la selección de especies vegetales a utilizar y siguiendo la evolución espontánea de la vegetación sobre sustratos calcáreos compactos, como se muestra en la figura 5.12.

Se propone en primer lugar, la implantación de especies herbáceas para la recuperación de las características edáficas del suelo, luego especies arbustivas y finalmente especies arbóreas.

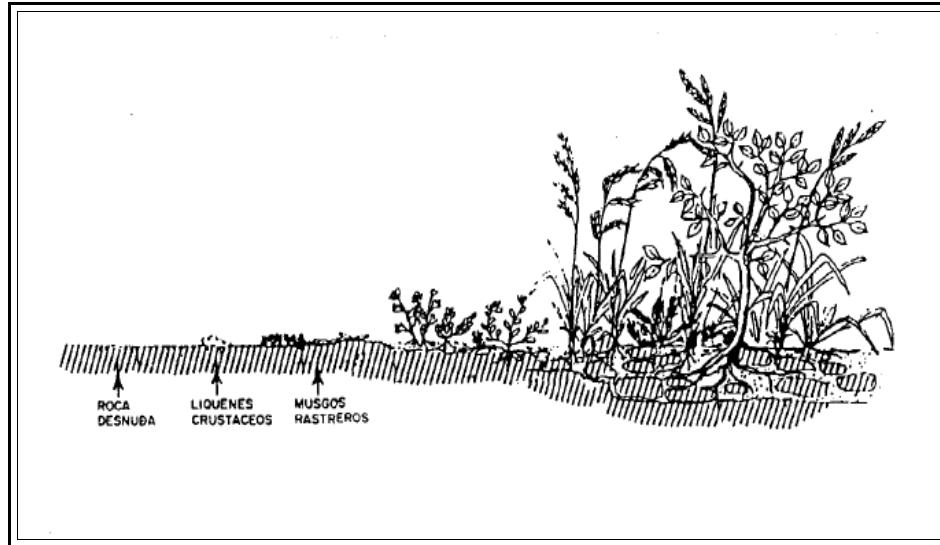


Figura 5.12: Evolución espontánea de la vegetación sobre sustrato calcáreo compacto.

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta el clima de la zona y las características edáficas del sitio minado, la propuesta de revegetación se basa en la siembra de la gramínea Vetiver, ya que esta planta resiste la energía para el arrastre del agua de escorrentía y es empleada para la estabilización de taludes; como se explica en detalle en su ficha técnica en el anexo 5. Una alternativa mas idónea es la Bermuda, por ser es una especie autóctona de la zona y ofrece buena protección contra la erosión.

Entre los criterios para la selección de las especies arbóreas se tiene, en primer lugar, que sean autóctonas de la región. Por esta razón se evaluaron las ventajas y desventajas de un grupo de especies autóctonas según sus capacidades de adaptación

a las condiciones edáficas desfavorables, periodo de crecimiento y la estabilidad de taludes, de allí que, como especies arbóreas se recomiendan:

5.6.1 Especies Arbóreas

Nombre Común: Orore

Nombre Científico: *Pitecellobium ligustrinum*

Familia: *Mimosaceae (Leguminosae)*

Características: árbol de 4 a 14 m de altura; copa en forma de paraguas y genera buena sombra.

Tabla 5.12: Criterios de selección de la especie arbórea conocida como Orore

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Crecimiento mediano o rápido 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es necesario esperar periodos de florecimiento para la recolección de semillas.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Posee dos (2) periodos de florecimiento: de febrero a marzo y de septiembre a noviembre. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las ramas poseen espinas.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistente y de vida relativamente alta 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizado como ornamental en parque y jardines 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se puede plantar en zonas bajas y calurosas. 	

Fuente: Elaboración propia

Nombre Común: Apamate

Nombre Científico: *Tabebuia rosea*

Familia: *Bignoniaceae*

Características: árbol de 5 a 14 m de altura, tronco corto.

Tabla 5.13: Criterios de selección de la especie arbórea conocida como Apamate

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">Se adapta zonas cálidas y secas.	<ul style="list-style-type: none">Exige bastante humedad en el suelo.
<ul style="list-style-type: none">Florece en días previos a las lluvias	
<ul style="list-style-type: none">Las semillas se dispersan con el viento, en ocasiones pueden desplazarse hasta 1 Km.	

Fuente: Elaboración propia

Nombre Común: Caro

Nombre Científico: *Enterolobium cyclocarpum*

Familia: *Mimosaceae (Leguminosae)*

Características: árbol de 20 a 30 m de altura, tronco cilíndrico, copa ancha y tupida.

Tabla 5.14: Criterios de selección de la especie arbórea conocida como Caro

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">Ofrece buena sombra	<ul style="list-style-type: none">Es necesario esperar periodos de florecimiento para la recolección de semillas. (febrero y abril).
<ul style="list-style-type: none">Es de crecimiento rápido	
<ul style="list-style-type: none">Su sistema radical es medianamente profundo	
<ul style="list-style-type: none">Tiene una vida larga.	
<ul style="list-style-type: none">Sus frutos son comidos por el ganado vacuno.	
<ul style="list-style-type: none">Las hojas y corteza cocidas se emplean para curar los malos olores corporales.	

Fuente: Elaboración propia.

Nombre Común: Samán

Nombre Científico: *Pithecellobium saman*

Familia: *Fabaceae*

Características: árbol grande que llega a medir hasta 60m de copa densa y simétrica.

Tabla 5.15: Criterios de selección de la especie arbórea conocida como Samán

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">▪ De adulto resiste a la sequía y a suelos muy pobres.	<ul style="list-style-type: none">▪ Su sistema radial es superficial.
<ul style="list-style-type: none">▪ El agua de lluvia escurre hacia afuera de la copa por lo que es muy poca la cantidad de agua que llega al suelo.	<ul style="list-style-type: none">▪ Requiere mucho espacio para crecer.

Fuente: Elaboración propia

Nombre Común: Cují negro

Nombre Científico: *Acacia macracantha*

Familia: *Mimosaceae (Leguminosae)*

Características: árbol pequeño de copa ampliamente extendida con delgadas ramas horizontales.

Tabla 5.16: Criterios de selección de la especie arbórea conocida como Cují Negro

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es uno de los cujíes más frecuentes en zonas secas y cálidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espinas fuertes de 1 a 3 cm. de largo.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se observa en suelos pobres. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Su sistema radial es superficial.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es de crecimiento rápido. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es resistente a la sequía y a suelos áridos. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se recomienda para la revegetación de taludes. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ La infusión de hojas y flores se usa para eliminar impurezas sanguíneas. 	

Fuente: Elaboración propia

Con base en la experiencia acumulada en la escombrera ubicada en el sureste de la cantera, se consideró que la especie arbórea idónea para la recuperación del talud sur es la conocida como Neem, como se explica en detalle en su ficha técnica en el anexo 6.

5.7 Selección de Áreas para La Revegetación.

Una vez realizados los trabajos de acondicionamiento del terreno, se proponen una áreas, que en principio serían las más idóneas para ubicar las especies vegetales a usar para revegetación a los fines de disminuir el impacto visual (ver figura 5.13) y permitir la integración paisajística.



Figura 5.13: Vista de la cantera El Melero desde el aeropuerto Caracas, 2011

Fuente: Elaboración propia

Al momento de escoger dichas áreas se evaluaron que cumplieran con los siguientes aspectos:

- Fácil acceso
- Próximas entre sí
- Alejadas lo más posible de zonas expuestas al tránsito de camiones para evitar el polvo y procesos de inestabilidad.

5.8 Cronograma de Revegetación

Tabla 5.17 Instalación y puesta en marcha del vivero

Actividad	Tiempo estimado
a.- Preparación del área donde se ubicará el vivero dentro de la cantera El Melero	1 meses
b.- Recolección y mezcla de arena de la quebrada para el germinador. La mezcla debe contener una parte de arena y tres partes de tierra negra	1 semana
c.- Plantación de semillas	1 semana

d.- Cuando las semillas alcancen una altura de 10cm serán trasplantadas	1 mes
---	-------

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.18 Movimiento de tierra en el talud sur de la cantera El Melero

Actividad	Tiempo estimado
a.- Conformación de los taludes, según la geometría propuesta. En tres (3) etapas: Etapa I : N±640 al N± 620 Etapa I : N±610 al N± 600 Etapa I : N±600 al N± 580	1 año cada etapa
b.- Traslado de la capa vegetal desde lugares cercanos	2 semanas
c.- Colocación de capa vegetal en el área, espesor 10cm	2 semanas
d.- Plantación de especie arbustiva	2 semanas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.19 Plantación de especies seleccionadas

Actividad	Tiempo estimado
a.- Establecer la cuadrícula de plantación	1 mes
b.-Apertura de hoyos para la siembra de especies	1 mes
c.-Transporte y plantación de los arboles que hayan alcanzado una altura de 1m(debe realizarse antes de la temporada de lluvia)	2 semanas
d.- Suministro de riego y limpieza del área circundante	12 meses

Fuente: Elaboración propia

Las actividades serán repetidas cíclicamente para cada una de las tres etapas en las que se ha dividido la revegetación, los cuales se pueden observar en el modelaje del plan de revegetación.

El tiempo estimado para la etapa de instalación y preparación del vivero es de dos meses y medio aproximadamente.

En la etapa de movimiento de tierra se tiene estima 3 años, ya que se avanzara según el ritmo de explotación del área norte de la cantera. Por último, en la etapa de revegetación se siembran primero las especies arbustiva y luego las arbóreas.

La organización de estas actividades cumple con varios objetivos, donde se resalta la integración de FNC con las comunidades vecinas a la cantera El Melero, teniendo en cuenta especialmente la población infantil, para quienes se organizan juegos y actividades recreativas.

5.9 Modelado de los Cambios Topográficos

El modelado de los cambios topográficos del terreno fue realizado con el software *Arcgis 9.3* de la empresa ESRI; el modelado en tres dimensiones de las propuestas de recuperación de la cantera se realizó siguiendo los siguientes pasos:

1. Importación de los archivos de *Autocad 2008*
 - a) Verificación de la existencia de datos
 - b) Verificación del contenido de elevación
 - c) Transformación de las poli-líneas en líneas
 - d) Resguardo del archivo en formato dxf
2. Uso del módulo *ArcCatalog*, para incorporar el archivo a la geodatabase creada para el modelo en tres (3) dimensiones.
3. Rectificación de las coordenadas en el *datum* correcto
4. Conversión de las líneas en puntos

5. Interpolación usando el módulo *ArcToolbox*, herramienta 3D analyts
6. Uso de la interpolación por vecino más próximo, por ser el método más adecuado
7. Utilización el modulo *ArcScene* para transformar un archivo plano en un moldeo 3D, luego de creado el archivo interpolado
8. Cambio de la paleta de colores, para obtener el modelo final y se repite éste procedimiento para cada una de las etapas

El modelado en tres dimensiones (3-D), permitió proyectar los cambios topográficos, año a año, desde el 2011 hasta el 2014. Con esta información se observó la dinámica de la secuencia de recuperación y el aspecto de la zona revegetada.

En este primer modelaje, se muestra la topografía modificada una vez finalizadas las operaciones en el año 2018, sin la recuperación ambiental (ver figura 5.14).

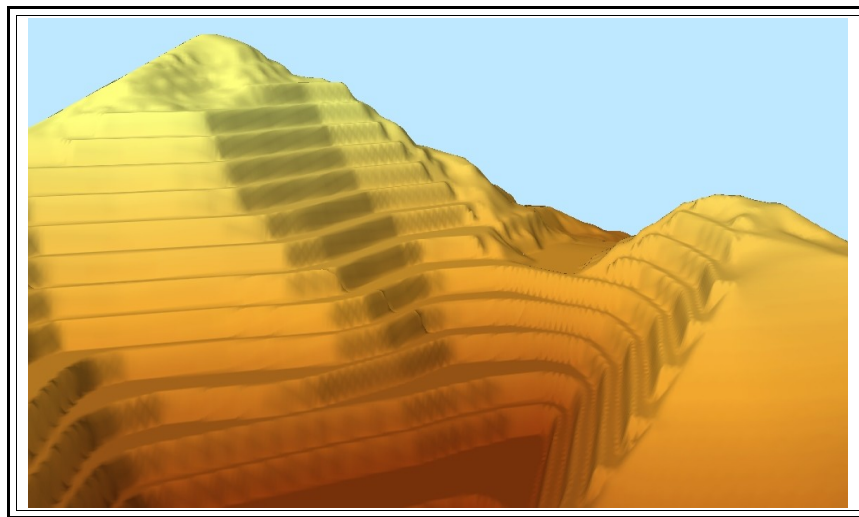


Figura 5.14: *Pit* Final año 2018.
Fuente: Elaboración propia.

En esta sección se muestra el inicio de la recuperación del talud lado sur, con la apertura del nivel N±640 (ver figura 5.15).

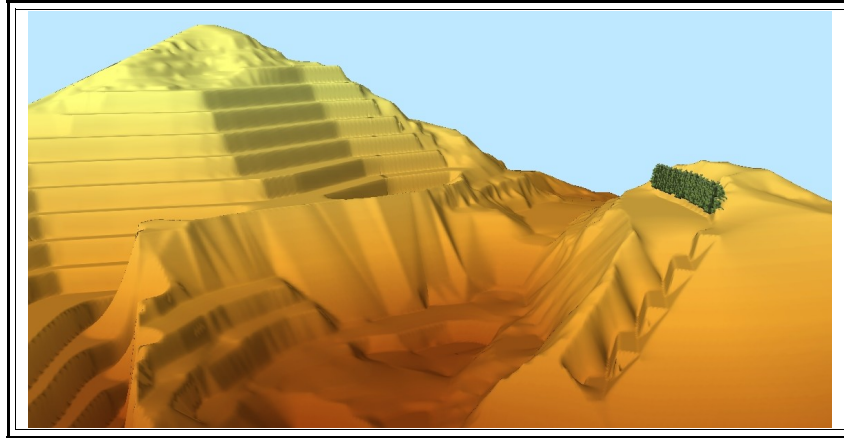


Figura 5.15: *Pit* final año 2011, cantera El Melero
Fuente: Elaboración propia

Continuación de recuperación del área afectada, avances en los niveles N±630 y N±620, tal como se muestra en las figuras 5.16 y 5.17.

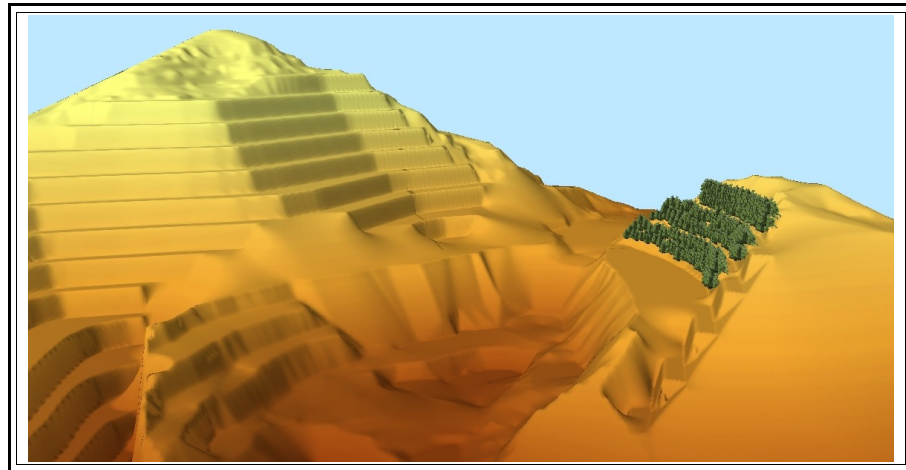


Figura 5.16: *Pit* final año 2012, cantera El Melero
Fuente: Elaboración propia

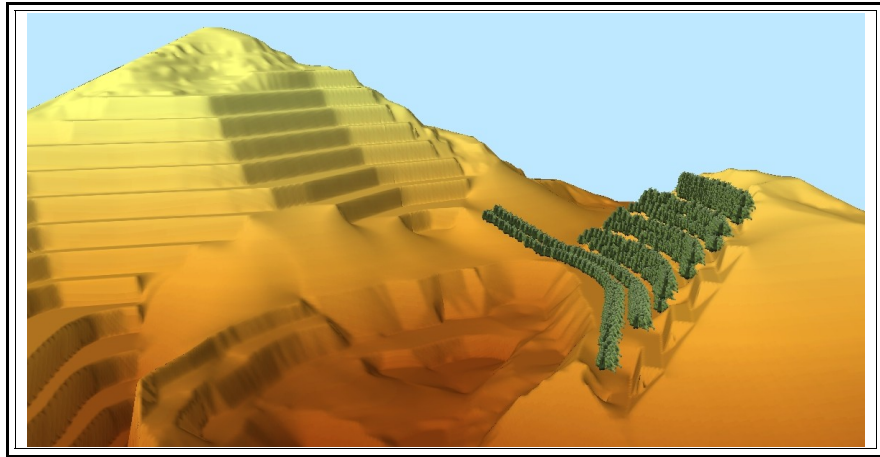


Figura 5.17: *Pit* Final año 2013, cantera El Melero.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se termina la recuperación del talud lado sur, hasta el nivel N±590; es preciso recordar que el ritmo de avance de la recuperación vendrá dado por la producción en la zona norte de la cantera. La planificación en forma descendente permitirá realizar la revegetación simultáneamente con la extracción de caliza (ver figura 5.18).

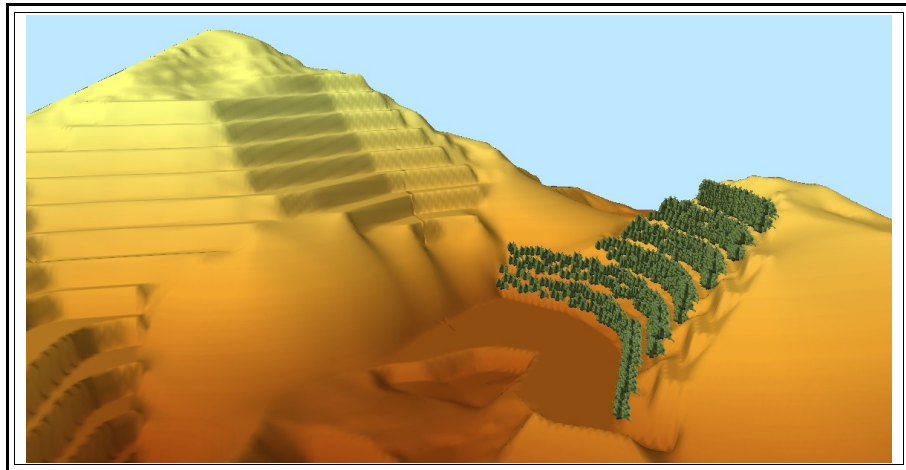


Figura 5.18: *Pit* Final 2014 cantera El Melero.
Fuente: Elaboración propia.

5.10 Descripción de Requerimientos y Ejecución de Obras de Revegetación.

Se refiere a la forma de realizar los trabajos de revegetación, así como a las condiciones que han de reunir, los materiales y maquinaria para la correcta ejecución del proyecto.

Los materiales que se proponen para su empleo, en los trabajos que incluye este proyecto, deberán guardar unas condiciones de calidad que garanticen el cumplimiento de los objetivos propuestos. Si por alguna circunstancia debiera sustituirse alguno de los materiales indicados por otros nuevos, éstos cumplirán las mismas funciones y tendrán cualidades semejantes.

A continuación se presentan las características principales de los materiales a emplear en la revegetación:

5.10.1 Abonos Orgánicos.

En la cantera El Melero, específicamente en el talud lado sur se requiere la aplicación de sustancias orgánicas, cuya descomposición es causada por los microorganismos del suelo, para que resulten en un aporte de humus y una mejora en la textura y estructura del suelo, dado que luego de la minería el suelo en la rasante queda completamente mineral.

Pueden adoptarse las siguientes formas:

- **Estiércol:** que se considera la mezcla de las deyecciones sólidas y líquidas del ganado, con la paja que sirve de cama al mismo.

- **Compost:** que es procedente de la fermentación de restos vegetales durante un tiempo no inferior a un año, o del tratamiento industrial de los residuos sólidos de la población cercana. Su contenido de materia orgánica debe ser superior al cuarenta por ciento (40%) y en materia orgánica oxidable, igual al quince por ciento (15%).

5.10.2 Abonos Minerales

Por las mismas razones precedentes, estos productos que proporcionan al suelo uno o más elementos fertilizantes, debe ser aportado abono foliar complejo (N-P-K: 8-24-8). El 80% del fósforo (P₂O₅) deberá ser soluble en agua, y el nitrógeno de asimilación lenta.

5.10.3 Agua para Riego

La que se emplee en la cantera El Melero para riegos tendrá un contenido inferior al uno por ciento (1%) en cloruros y sulfatos, y su pH debe ser igual o superior a seis (6).

5.10.4 Tierra Vegetal

Los cánones de aceptación que se han considerado para cantera El Melero, son los siguientes:

- **Composición granulométrica de la tierra fina:** arena 60-75 %, limo y arcilla 10-20 %, humus 4-10 %.

- **Granulometría:** ningún elemento debe ser superior a 1 cm de diámetro. El 20-25% de los materiales deben estar comprendidos entre 2-10mm de diámetro.
- **Composición química:**
 - Porcentajes mínimos: Nitrógeno, 1 por 1000.
 - P2O5 asimilable, 0,3 por 1000.
 - K2O asimilable, 0,1 por 1000.

5.10.5 Maquinaria para Revegetación

A continuación se indica la maquinaria necesaria para llevar a cabo la revegetación.

- Tractor D8 o similar.
- Cisterna con capacidad de 10.000 litros.
- Patrol marca CAT modelo 12 G o similar
- Cargador 966 o similar.
- Camiones marca Fiat Iveco capacidad 20 Ton.
- Material de tratamiento fitosanitario (fumigadoras).

5.10.6 Ejecución de Obras.

Como norma general, las obras se realizan siguiendo el orden que a continuación se establece; este orden podrá alterarse cuando la naturaleza o la marcha de las obras así la requieran.

5.10.6.1 Movimientos de Tierra y Preparación del Terreno

El material a utilizar para rellenar posibles vacíos o huecos procederá, en lo posible, de zonas adyacentes, ya que al aumentar las distancias de transporte generarían costos adicionales al proyecto. El extendido de la tierra vegetal deberá ser en una capa de 10 cm. y se establece una tolerancia del 20%, en más o en menos. Durante la operación de extendido de la tierra vegetal se cuidará de que no sea compactada la tierra.

Las operaciones de escarificado para romper la costra superficial del suelo y el resultado debe ser una superficie uniforme pero a la vez rugosa, con el objeto de que sirva de cama de siembra. La profundidad de esta labor será de tres a cinco centímetros (3 – 5 cm).

5.10.6.2 Siembra, Riegos y Abonos Posteriores.

El riego inmediato a la siembra se hará con las precauciones necesarias para evitar arrastre de tierras o de semillas. Según los casos, los riegos podrán espaciarse más o menos variando a su vez la dosis, la cual es determinada con atención a las recomendaciones de personal técnico en agroecología.

Los momentos más adecuados del día para regar son las últimas horas de la tarde y las primeras de la mañana. Por otra parte se incorporarán las cantidades de abono mineral, tipo (N P K) en forma soluble, conjuntamente con el riego de mantenimiento, una vez que las plantas hayan desarrollado su sistema aéreo. Los riegos de mantenimiento se realizarán cuando las condiciones meteorológicas lo requieran. La frecuencia será al menos 3 veces por semana.

5.11 Participación Social en el Proyecto de Revegetación

Este tipo de proyectos suele inquietar a la opinión pública, pues es difícil que pasen desapercibidos. La participación social no sólo debe entenderse como un derecho constitucional y legal de los ciudadanos, sino como la única forma posible de manejar un potencial conflicto social. Si entendemos la revegetación como un proceso social y no sólo como un trámite ante los organismos competentes, se asume que los costos sociales pueden ser reducidos en gran medida, y como consecuencia también pueden ser disminuidos los costos de ejecución del proyecto.

La participación ciudadana en proyectos de recuperación ambiental responde a un criterio democrático que en nuestras sociedades está cada vez más presente. Es decir, el derecho de los ciudadanos afectados a intervenir en las decisiones sobre los proyectos que piensan que les pueden cambiar la calidad de vida. Tal cual como es reconocido en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, la participación no se agota en el proceso electoral, sino que debe fomentarse en todos los campos de la iniciativa ciudadana.

Es por ello, que se pretende involucrar a las comunidades vecinas a través de jornadas de revegetación, con los niños y niñas de las comunidades educativas cercanas para crear un espíritu de conservación.

5.12 Evaluación Económica del Proyecto

La dificultad de expresar los costos unitarios de este proyecto ha conducido a replantear el presupuesto mediante la consideración de partidas y tomando como base los costos medios de otras operaciones, de igual o parecidas características.

El costo correspondiente al plan de seguimiento y control se debe incorporar a los costos parciales anteriores para obtener de forma aproximada el costo total del proyecto.

El costo del proyecto no es bajo; da una idea de por dónde se mueve este tipo de proyectos. Esto tiene a su favor que además de recuperar el área afectada se están extrayendo 138.310 Ton de caliza, y al realizarlo de forma planificada es posible distribuir los costos a lo largo de la vida útil de la cantera; con un alto grado de éxito en su desarrollo y a un precio más bajo de lo que se obtendría si se espera al final de la extracción mineral.

Para estimar los costos del proyecto de revegetación se partió de un análisis de precio unitario considerando los siguientes aspectos:

- Consumo de explosivos (ver anexo 5)
- Consumibles: lubricantes, combustible, filtros, neumáticos y grasas
- Mantenimiento y reparaciones
- Mano de obra
- Imprevistos

De la misma manera fue realizado un análisis de costos por hora por equipo partiendo del costo inicial del equipo y se consideraron los siguientes aspectos:

- **Cargos Fijos:** depreciación, costo de inversión, seguro, almacenaje y mantenimiento.
- **Consumibles:** combustible, lubricantes y neumáticos.
- **Costo de operación.**

Estos cálculos fueron realizados para cada uno de los siguientes equipos: camiones Fiat Iveco, excavadora Komatsu PC300LC, cargador frontal 966, excavadora Doosan Solar 500, camiones cisternas, Patrol Cat 12G, perforadora Ingersoll Rand, compresor Sullair 750H, tractor D8, vehículos de apoyo Iveco 4012 para lubricación y explosivos.

A continuación se muestra un cálculo modelo realizado para la excavadora Komatsu PC 300.

Tabla 5.20: Costo de funcionamiento por hora de excavadora Komatsu PC 300

COSTO DE HORA MÁQUINA			
MÁQUINA:		EXCAVADORA	
MODELO:		HIDRAULICA	
MARCA:		PC 300	
		Komatsu	
VALOR INICIAL DE LA MÁQUINA (VA)	695.000,0	FACTOR DE OPERACIÓN (FO)	0,80
RESCATE (VR)	0	CONSUMO ESPECÍFICO	0,40
	104.250,0		

	0		
TASA DE INTERES (I)	11,00%	PRECIO DE COMBUSTIBLE (PC)	0,30
PRIMA DE SEGUROS (S)	0,20	FACTOR DE LUBRICANTE (FL)	0,25
FACTOR DE ALMACENAJE (K)	0,20	PRECIO DE LUBRICANTE(PL)	3,00
FACTOR DE MANTENIMIENTO (Q)	0,25	VALOR ACTUAL DE LLANTAS (VLL)	15.000,00
HORAS EFECTIVAS ANUALES (HA)	2.000,00	HORAS VIDA LLANTAS (HVL)	2.000,00
VIDA ÚTIL AÑOS (VU)	7,00	SALARIO OPERADOR (SO)	7,00
VIDA ECONÓMICA EN HORAS (VEH)	14.000,00	SALARIO AYUDANTE(SA)	0,00
CARGOS		FÓRMULA	COSTO HORARIO
1.- CARGOS FIJOS			
DEPRECIACIÓN		$D = (VA - VR) / VE$	\$42,20
INVERSIÓN		$I = (VA + VR)(I) / 2HA$	\$0,22
SEGUROS		$S = (VA + VR)(S) / 2HA$	\$0,40
ALMACENAJE		$A = K * D$	\$0,08
MANTENIMIENTO		$M = Q * D$	\$10,55
2.- CONSUMOS			
COMBUSTIBLES		$E = 0.6 * PC * CO$	\$2,67
LUBRICANTES		$L = FL * PL$	\$0,75
NEUMÁTICOS		$LL = VLL / HVL$	\$7,50
3.- OPERACIÓN			
OPERACIÓN		$O = SO + SA$	\$7,00
COSTO HORA MÁQUINA			\$71,37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.21: Presupuesto global para la recuperación del talud lado sur cantera El Melero

PRESUPUESTO CANTERA EL MELERO

Producción Caliza (ton)	138310
Extracción de estéril (ton)	145310

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO	
DESCRIPCIÓN	Bs./TON

A.- EXPLOSIVOS	4,50	622395,00
B.- EQUIPO		
EQUIPO DE PERFORACIÓN	0,13	18651,19
EQUIPO DE CARGA	0,10	13377,47
EQUIPO DE ACARREO	0,48	66473,44
EQUIPO LIVIANO	0,32	43963,53
EQUIPO DE APOYO	0,72	100239,13
EQUIPO EN DESPACHO	0,20	28188,24
ESTÉRIL	1,80	261558,00
B.2.- CONSUMIBLES	3,76	532451,00
NEUMÁTICOS	0,34	47011,75
TREN DE RODAMIENTO	0,30	42183,00
FILTROS	0,16	21607,50
ACEITES Y GRASAS	0,05	7318,56
COMBUSTIBLE	0,21	29446,23
B.3.- MANTENIMIENTO Y REPARACIONES	1,07	147567,03
EQUIPO PESADO	0,40	55827,78
EQUIPO LIVIANO	0,08	10855,35
E.- MANO DE OBRA	0,48	66683,13
MANO DE OBRA CANTERA	0,58	80775,50
TOTAL COSTOS	Bs 10,39	Bs 1.369.096,16
IMPREVISTOS (15%)	Bs 1,04	Bs 205.364,42
TOTAL COSTOS X TON	Bs. 11,43	Bs. 1.574.460,58
TOTAL COSTOS	Bs 1.580.998,83	

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se estimaron los costos de materiales propios de la revegetación (semillas, plantas, fertilizantes, capa vegetal y obras de acondicionamiento), como resultado de multiplicar los consumos previstos por el costo unitario correspondiente (Ver Tabla 5.22).

La ejecución de la revegetación de manera progresiva y simultánea con la explotación, según se vayan alcanzado posiciones finales según el diseño del plan de

explotación, permitirá distribuir los costos a lo largo de ejecución del proyecto y evaluar los avances.

Tabla 5.22: Costos de las especies vegetales para el plan de revegetación en cantera El Melero

PARTIDA	NOMBRE DE LA PARTIDA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
1	Siembra de Vetiver	m2	2000	197,12	394.240,00
2	Mantenimiento	m2	2000	40,8	81.600,00
TOTAL					475.840,00
IMPUESTO					57.100,80
TOTAL+ IMPUESTO					532.940,80

Fuente: Elaboración propia.

Esta partida contempla suministros, carga, descarga y distribución de las especies vegetales, equipos, materiales, transporte, mano de obra especializada y plantación de las mismas. La mano de obra estará conformada por 10 obreros y un supervisor.

Es importante destacar, que en esta etapa del proyecto se solicitará el apoyo del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB), para el suministro de las plantas necesarias para la revegetación y de esta manera repetir las experiencias realizadas en el año 2010, cuando esta institución suministró todas las plantas necesarias para la revegetación de una escombrera en la Cantera San Bernardo, ubicada en Ocumare del Tuy. MINAMB cuenta con un vivero en su sede de Ocumare y la siembra se realizó con los niños de las comunidades educativas vecinas e hijos de los trabajadores de FNC.

5.13 Plan de Seguimiento y Control

El objetivo principal del plan de seguimiento y control es conocer el rendimiento de los materiales y las técnicas empleadas en la revegetación. Se considera que la revegetación ha sido un éxito si se consigue el establecimiento de la vegetación duradera, con un alto grado de superficie cubierta, que permite progresivamente la introducción espontánea de la vegetación autónoma.

El plan consiste en un programa de inspecciones visuales periódicas, en las que se llevará un registro sistemático de todos aquellos aspectos de la vegetación y el suelo, que permitan conocer la evolución en el tiempo de las siembras realizadas y detectar cualquier problema de desarrollo que se presente.

Algunos parámetros interesantes a evaluar en la evolución de vegetación y suelo son:

- Grado de cubierta total
- Composición específica
- Presencia de especies leñosas no sembradas
- Análisis químico del suelo para verificar si las enmiendas y aportaciones efectuadas en el sustrato han sido efectivas
- Existencias de zonas sin cobertura en la zona revegetada
- Decaimiento progresivo de la vegetación
- Crecimiento lento

Si tras estos chequeos periódicos aparece algún síntoma evidente, será preciso entonces realizar un estudio más detallado, que concrete el problema y determine sus causas, para así poner en práctica las medidas oportunas.

La frecuencia de las inspecciones puede fijarse de la siguiente forma:

- Observaciones quincenales durante los tres (3) primeros meses posteriores a la siembra
- Observaciones al comienzo y al final del periodo de lluvias
- Dos (2) observaciones más, repartidas a lo largo de año

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La mejor estrategia para la estabilización del talud del lado sur incluye una mezcla de varias técnicas como son: la generación de taludes, la cual surge a partir de la extracción de reserva mineral, el manejo de aguas de mina y la revegetación.

Los diseños de obras de drenaje superficial en la vialidad actual, fueron realizados con procedimientos totalmente empíricos, dando como resultado obras insuficientes con secciones que no son capaces de manejar los caudales de agua que se concentran en las coronas de los taludes.

En éste sentido se concluyó:

- Se determinó que el volumen de material como reserva mineral a remover en el talud sur será de 113.603 m³, de los cuales 58.279 m³ corresponderán a estériles discriminadas en el frente y 55.324 m³ de caliza, que serán acarreados a la escombre y a la planta de trituración respectivamente.
- Se diseñó la conformación de seis (6) taludes desde la cota N± 640 hasta la cota N± 590, de 10 m de altura cada uno. Una vez retirada la cobertera de tierra vegetal con una excavadora con capacidad de 250 Ton/h, el mineral será arrancado mediante métodos mecanizados o con perforación y voladura cuando la roca presente mayor resistencia a la compresión simple. La malla de perforación será de 3,5 x 4 m² con un factor de carga de para la caliza 180 gr./Ton y 172,4 gr./Ton para el estéril.
- La producción en el talud lado sur se inserta en la planificación y cronograma de la ejecución de la cantera aprovechando la logística y los

avances de producción de manera ordenada. En consecuencia, el cronograma de trabajo estará determinado por el ritmo de producción del área norte de la cantera conectándola con el área sur, para el primer año se apertura el nivel 640, en el año 2012 los niveles 630 y 620, en año 2013 hasta el nivel 600 y finalmente el año 2014 el nivel 590.

- La solución óptima para la generación de los taludes incluye, un terraceo en forma descendente con un ángulo de inclinación de 76° y bermas de 7,5 m de ancho, con una pendiente transversal del 2% y una pendiente longitudinal del 0,5% con la finalidad de conseguir un desagüe efectivo que permita conducir el agua de escurrimiento hacia el noreste a través de cunetas diseñadas para tal fin y que descarguen en el sistema de drenajes existente en la cantera.
- El sistema de drenaje superficial basado en los datos de intensidad de lluvia de 3 horas y un periodo de retorno de 10 años para el cual obtuvimos un caudal de diseño de $0,61 \text{ m}^3/\text{s}$, consiste en una zanja de coronación rectangular con una sección transversal de 1 m^2 y canales triangulares al pie de los taludes cuya sección transversal $0,25 \text{ m}^2$
- Con base en la experiencia acumulada en la escombrera ubicada en el sureste de la cantera, se consideró que las mejores especies para la recuperación de las condiciones edáficas y la revegetación son: gramíneas de la especie conocida como Vetiver (retentores de sedimentos) y la especie arbórea conocida como Neem; las cuales cumplen con todas las características idóneas para el área intervenida. No se han incluido especies representativas de la zona tales como *Acacia macracantha* (cují) debido a la problemática de suministro en el mercado. No obstante es de esperar que ésta especie se instale de forma natural.

- Los modelos mineros generados con el software Argis permitieron observar las áreas que serán revegetadas en el talud sur y el avance descendente permitirá desarrollar la revegetación simultáneamente con la explotación de caliza.
- La alternativa elegida pretende dar una solución técnica y económicamente viable y compatible con el entorno. El costo por tonelada de este proyecto es Bs. 11,43, para un total de Bs. 1.580.998 y da una idea de por dónde se mueven éste tipo de proyectos; tiene a su favor que además de recuperar el área afectada se está extrayendo 138.310 Ton de caliza, y al realizarlo de forma planificada podemos distribuir los costos a lo largo de la vida útil de la cantera, con un alto grado de éxito en su desarrollo y a un precio más bajo de lo que se obtendría si esperamos al cierre de mina.

6.2 Recomendaciones

- Realizar estudios geomecánicos para evaluar la estabilidad de materiales en el talud sur, con el fin de perfeccionar el diseño geométrico del *pit* final del talud sur e implementar diseños geométricos en función de las distintas litologías.
- Reacondicionar las vías frecuentemente: conformar, compactar y dar la respectiva inclinación requerida de 2% desde el centro hacia los laterales y nivelar a fin de evitar cualquier irregularidad en la superficie de la misma.
- Se recomienda realizar limpieza y mantenimiento de los drenajes existentes para que puedan encausar el agua en forma eficiente y rápida,

para evitar el deterioro prematuro de la vialidad y la inestabilidad de taludes. Su correcto funcionamiento durante la vida útil estimada para cada obra de drenaje estará directamente relacionada con su mantenimiento, ya que procesos como la sedimentación reducen su capacidad de evacuar o retener escorrentía superficial, y por ende disminuye el periodo de retorno para el cual fueron diseñadas.

- De este estudio se desprende la necesidad de un plan de cierre de mina que se fundamente en el estudio de impacto ambiental, para considerar un desarrollo sustentable de la cantera El Melero que abarque el manejo de residuos mineros, las actividades progresivas de recuperación, desmantelamiento, demoliciones de instalaciones, nuevo uso del área afectada y programas sociales.
- Realizar una consulta a la comunidad a través de una encuesta sobre la preferencia del nuevo uso del terreno.
- Se recomienda cumplir los estándares de calidad de todos los materiales empleados en la revegetación y definidos en el capítulo V.
- Solicitar el apoyo del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, para el suministro de las plantas necesarias para la revegetación y repetir las experiencias realizadas en el año 2010 en la Cantera San Bernardo ubicada, en Ocumare del Tuy.
- Se debe fomentar la participación ciudadana para generar un clima favorable que facilite el desarrollo del proyecto, a través de campañas de revegetación involucrando a los niños y niñas de las comunidades educativas y comunidades vecinas. La divulgación de información acerca de las actividades del proyecto y la consulta con las comunidades

involucradas permitirán integrar sus preocupaciones, sugerencias y conocimientos locales en el proyecto; ello incrementa su eficiencia y evita futuros costos innecesarios.

- Se recomienda realizar chequeos anuales para asegurarse que la vegetación plantada no presenta síntomas de deficiencias nutricionales. En caso de que aparecieran, habrá que proceder a fertilizar el terreno. El tipo de fertilizante a emplear dependerá de las deficiencias nutricionales que se hayan presentado, del sustrato, del pH, de la presencia o no de especies competidoras, etc., pero básicamente estarán formados por nitrógeno, fósforo y potasio (fertilizante complejo del tipo N-P-K de liberación lenta), los cuales se encuentran disponibles en el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

Aduvire, O, y otros (1993). *Estudios de Viabilidad en Proyectos Mineros*. ITGE, Madrid. ISBN: 84-7840-158-X.

ANEFA (2008). *Manual de Restauración de Explotaciones Mineras a Cielo Abierto de Aragon*. España.

Annels, A. (1990). *Minerals Deposits Evaluation, a Practical Approach*. Department of Geology. University of Wales. Cardiff. Chapman Hall. USA.

Austin Powder Company, Inc. (2002). *The Blaster's Guide*. [en línea]. Disponible en: www.austinpowder.com/blastersguide.

Ayala, F. (1997) *Criterios Geoambientales para la Restauración de Canteras, Graveras y Explotaciones a Cielo Abierto en la Comunidad de Madrid*, IGME.

Blanco, Y. (2007), “*Propuesta de plan de cierre progresivo de mina en el cuadrilátero ferrífero San Isidro de C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A., Cuidad Piar, Estado Bolívar*”.

Bustillo, M. & López, C. (1997). *Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras*. Editorial Masson, S.A. Barcelona España. p. 457.

Carciente J. (1985). *Carreteras Estudio y Proyecto*. Segunda edición. Ediciones Vega. Madrid. España.

Castillejo M.A (s.f). *Guías de Cálculo Geominero UCV*, Escuela de Minas, cátedra de Cálculo.

Castillo A. (2003). *Curso de Control de Sedimentos en Minería a Cielo Abierto*. UCV Instituto Tecnológico de la Facultad de Ingeniería.

Corniel, Y. (2010), “*Estudio geológico de la cantera El Melero, ubicada en el municipio Cristóbal Rojas, municipio Charallave, Estado Miranda*”.

Cumbre de la Tierra Johannesburgo (2002): La Minería y el Medio Ambiente: El recorrido de los minerales.

Geoconsulta (2005). *Plan de Explotación Cantera Melero*.

Gomis, Carlos (2001). *Proyecto de restauración ambiental del área sur de la planta de mejoramiento de crudo de Operadora Cerro Negro (OCN)*. Jose, Estado Anzoategui, Venezuela

Herbert, J. (2007). *Diseño de Explotaciones de Canteras*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.

Hernández, A. (1979). *Manual de Drenaje*. España. Editorial Formica Española, S.A.

Herrera Rodríguez, F. (2000). *Análisis de Estabilidad de Taludes*. Director Técnico y Geólogo - Master en Ingeniería Geológica, U.C.M. Geotécnica.

<http://www.a-venezuela.com/mapas/map/html/estados/miranda.html>

<http://www.a-venezuela.com/mapas/map/html/estados/miranda.html>

<http://fundaciongeoparquesdevenezuela.blogspot.com/>. Consultado en abril 2011.

<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=577>. Consultado en enero 2011.

Instituto Tecnológico Geominero de España. (1999). *Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería*. Quinta Edición. Impreso por Gráfica Chile. Madrid, España.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1995). *Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto*. Madrid, España.

Knight Piésold Consultores S.A. (2009). *Plan de Revegetación en la Mina La Zanja*. Lima Perú.

Ley orgánica del trabajo de la Republica Bolivariana de Venezuela (1997).

Lyle JR., E. S. (1987). *Surface mine reclamation manual*. Elsevier, New York,

268 p.

Peck, Hanson y Thornburn (1983). *Ingeniería de Cimentaciones*. Segunda Edición Editorial Limusa. México.

Pinilla (1999), “*Alternativas para el manejo y disposición de minerales no conformes en el cuadrilátero ferrífero de San Isidro, Estado Bolívar C.V.G. Ferrominera del Orinoco, C.A*”.

Rodríguez y Ayala (1990). *Manual de Diseño y Construcción de Presas*. Instituto Tecnológico Geominero de España.

Ramírez, M. y otras (2006). *Estudio Comparativo de los Diferentes Métodos Utilizados para la Predicción de Intensidades Máximas de Precipitación para el Diseño Adecuado de Estructuras Hidráulicas*. Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Dpto. de Ingeniería Civil, Centro de Estudios Ambientales.

Sánchez, L. (1995). *Drenaje de Mina a Cielo Abierto*” Volumen I. Oficina regional de ciencia y tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Montevideo. Uruguay.

Sarmiento, Y. (2008). *Restauración en Explotaciones de Minas Caliza*. Universidad Nacional de Colombia.

Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamiento y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. [en línea]. Disponible en: <http://www.erosion.co>. [Consultado el 10-01-2011].

Urbani, F. (2008). *Revisión de la nomenclatura de unidades de rocas ígneas y metamórficas del norte de Venezuela*.

Valdivieso (2001), “*Recuperación integral de taludes: seguimiento y control de movimiento de masas, control de pérdida de suelo e integración paisajística, de una zona al noreste del estado Vargas*”.

Van Zanten (2004), “*Diseño de manejo de aguas de mina, en el Pit Baqueta de la mina Paso Diablo, Estado Zulia, como aporte al desarrollo sustentable de la región*”.

ANEXOS

ANEXO 1
ACTUALIZACIÓN TOPOGRÁFICA MARZO 2009

ANEXO 2
PERFILES TOPOGRÁFICOS

ANEXO 3
TABLA RESERVA CANTERA EL MELERO

ANEXO 4
TABLA RESERVA TALUD SUR CANTERA EL MELERO

ANEXO 5
TABLA CONSUMO DE EXPLOSIVOS PARA EL PROYECTO
DE RECUPERACIÓN CANTERA EL MELERO

ANEXO 6
FICHA TECNICA VETIVER

ANEXO 7
FICHA TECNICA NEEM