

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INTEGRACIÓN DE CRITERIOS DE CIERRE DE MINA A LA PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO: “CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL”, MAMERA, MUNICIPIO LIBERTADOR

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Seijas Patiño, Daniel David.
Para optar al título de Ingeniero de Minas

Caracas, junio de 2017

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INTEGRACIÓN DE CRITERIOS DE CIERRE DE MINA A LA PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO: “CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL”, MAMERA, MUNICIPIO LIBERTADOR

TUTORA ACADÉMICA: Profa. Alba Castillo
COTUTOR ACADÉMICO: Prof. Miguel Castillejo
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Pablo Matos

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Seijas Patiño, Daniel David.
Para optar al título de Ingeniero de Minas

Caracas, junio de 2017

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 Daniel David Seijas Patiño, titulado:

**INTEGRACIÓN DE CRITERIOS DE CIERRE DE MINA A LA
PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO: “CANTERAS DEL
DISTRITO CAPITAL”, MAMERA, MUNICIPIO LIBERTADOR**

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

Profa. Sasha Cazal
Jurado

Prof. Omar Márquez
Jurado

Profa. Alba Castillo
Tutora Académica

Prof. Miguel Castillejo
Cotutor Académico

DEDICATORIA

Por enseñarme a ver el futuro con optimismo, apuntando siempre a lo más alto, dedico esta investigación a mi madre, ejemplo de constancia, convicción y superación personal.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser la luz que ilumina mi camino hacia el éxito.

A mi mamá y abuela, por su constancia, apoyo y amor. Las personas más importantes en mi vida, las palabras nunca serán suficientes para expresar lo mucho que les estoy agradecido. Las llevo en mi corazón, son parte de mí, hoy y siempre.

A mis hermanos: Pedro, por enseñarme que la nobleza es una de las cualidades más bellas del ser humano; Madeleene, por su compañía, apoyo y comprensión. Los amo Gusingus. Así mismo, agradezco a Darwin y a Eliza, porque los lazos de amor que nos unen no conocen ningún tipo de fronteras, porque su apoyo, comprensión, cariño y respeto han estado presentes desde que los conocí, Nav Nav y Elilocagua.

A la Sra. Morella, por sus consejos, su solidaridad y su cariño. Más que una jefa, más que una amiga, es usted parte de mi familia. Siempre estará presente en mi corazón, junto a la Biblioteca y los demás pasantes.

A mis tutores, por todo el apoyo brindado en la elaboración de esta investigación. Profa. Alba, Prof. Castillejo, muchas gracias por su paciencia, comprensión y buena disposición. Son ustedes dignos representantes de lo que realmente significa ser un profesor (a).

A todo el gremio docente de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, por los conocimientos que han compartido conmigo. Agradeciendo especialmente a la Profa. Aurora, la Profa. Katherine, el Prof. Omar y el Prof. De Abreu, por su excelente labor dentro y fuera de las aulas de clase.

A todos mis amigos y amigas, miembros fundamentales de esta etapa tan hermosa en mi vida, especialmente Winder, Reinaldo y Yusbelys. A Katheanny y a Nestor, Divino Emperador de la Humanidad, gracias por estar a mi lado en los momentos en los que más necesité ayuda. Los amo a todos.

Por último y muy especialmente, a la Universidad Central de Venezuela, la casa que venció mis sombras. En tus aulas, pasillos y jardines surgieron mis más profundas ilusiones, alegrías, tristezas y esperanzas. Ser ucevista se convirtió en una experiencia maravillosa. Por y para siempre, ¡viva la universidad!.

Seijas Patiño, Daniel David

INTEGRACIÓN DE CRITERIOS DE CIERRE DE MINA A LA PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO: “CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL”, MAMERA, MUNICIPIO LIBERTADOR

Tutor académico: Profa. Alba Castillo
Cotutor académico: Prof. Miguel Castillejo

Tesis. Caracas, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Minas. Año 2017, 123p.

Palabras Clave: Cierre de mina, planificación a largo plazo, impacto ambiental, estabilidad de taludes.

RESUMEN

Debido a la necesidad, cada vez más predominante, que adquieren las prácticas mineras a nivel nacional e internacional, la cual sugiere que la explotación mineral debe ir de la mano con la conservación y protección ambiental, se presenta un proyecto de integración de criterios de cierre de mina a la planificación minera a largo plazo de la empresa “Canteras del Distrito Capital”, la cual está ubicada en el sector Mamera, vía a El Junquito, Municipio Libertador.

Se realizaron múltiples estudios de campo en la zona, con la intención de conocer y evaluar sus características geotécnicas, así como determinar el grado de impacto ambiental que genera la cantera. Se llevaron a cabo ensayos sobre el suelo afectado por las actividades mineras, permitiendo determinar la intensidad con la que se ve afectado. También se realizaron los respectivos ensayos geomecánicos para definir los parámetros de resistencia y estabilidad, logrando caracterizar el macizo rocoso y conocer la existencia de algún tipo de inestabilidad en los taludes, llegando a la conclusión de que algunos de éstos son mecánicamente inestables.

A raíz de los impactos estudiados, se generó un programa de recuperación y remediación ambiental que contempla las medidas preventivas, correctivas, o mitigantes que hacen frente a dichos impactos. También se reconoce los escenarios propios del cierre de minas y se plantean las actividades correspondientes a cada uno, siendo una de las principales la reconfiguración de los taludes, ya que actualmente algunos presentan alturas superiores a los 30 m y pendientes cercanas a los 70°.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Justificación.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.2 Bases teóricas	6
2.2.1 Medio ambiente.....	6
2.2.2 Minería y desarrollo sustentable.....	6
2.2.3 Principales impactos ambientales de la minería a cielo abierto	7
2.2.4 Pasivos ambientales mineros.....	8
2.2.5 Remediación ambiental	8
2.2.6 Cierre de minas y su planificación	9
2.2.7 Planificación minera a largo plazo	12
2.2.8 Criterios para analizar alternativas de restauración ambiental	13
2.2.9 Planificación territorial: Sector Mamera – El Junquito.....	15
2.2.5 Revegetación	16
2.2.5.1 Propiedades de la materia orgánica en el suelo.....	16
2.5.8 Evaluación de taludes en roca	17
2.2.8.1 Caracterización del diaclasamiento del macizo rocoso	17

2.2.8.2	Parámetros del macizo rocoso	20
2.2.8.3	Clasificación de Bieniawski (RMR).....	22
2.2.8.4	Clasificación de Romana – Índice SMR	24
2.2.8.5	Tipos de falla	26
2.2.9	Instrumentos legales para el cierre de minas en Venezuela	27
2.2.9.1	Constitución de la República Bolivariana de Venezuela	27
2.2.9.2	Ley Orgánica del Ambiente (LOA).....	27
2.2.9.3	Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio.....	28
2.2.9.4	Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos	28
2.2.9.6	Decreto con Rango y Fuerza de Ley de Minas	28
2.2.9.7	Decreto 2.212. Normas sobre movimientos de tierra yconservación ambiental.....	29
CAPÍTULO III: GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO		30
3.1	Aspectos generales del entorno físico-natural.....	30
3.1.2	Ubicación geográfica y acceso	30
3.1.2	Clima	31
3.1.3	Hidrología.....	31
3.1.4	Relieve.....	32
3.1.5	Vegetación.....	32
3.1.6	Geología regional	32
3.1.8	Geología local.....	34
3.2	Aspectos generales de la empresa Canteras del Distrito Capital S. A.	36
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO		38

4.1 Tipo de investigación	38
4.2 Diseño de la investigación.....	38
4.3 Población y muestra	39
4.4 Recolección de datos y procesamiento de la información	39
4.4.1 Recopilación de información previa.....	39
4.4.2 Influencia sobre el ambiente.....	39
4.4.2.1 Determinación de parámetros de estabilidad de taludes	40
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y ANÁLISIS	42
5.1 Identificación de impactos ambientales	42
5.2 Descripción de los impactos.....	44
5.3 Programa de recuperación y remediación ambiental	57
5.3.1 Programa de protección de ecosistemas acuáticos y red hidrográfica	57
5.3.2 Programa de protección de componentes atmosféricos	59
5.3.3 Programa de recuperación y protección de suelos	60
5.3.4 Programa de reforestación.....	61
5.3.5 Programa de desincorporación de equipos e infraestructuras	64
5.4 Determinación de parámetros geotécnicos de la roca aflorante	66
5.4.1 Zonificación de la zona de estudio	66
5.4.2 Ensayos Geomecánicos	67
5.4.2.1 Ensayos de compresión simple (UCS)	67
4.4.2 Análisis de estabilidad de taludes.....	71
5.4.2.1 MINA 1 - Zona 1	72
5.4.2.2 MINA 2 - Zona 1	76
5.4.2.3 MINA 2 - Zona 2.....	81

5.4.3 Clasificación del macizo rocoso	86
5.4.2.1 MINA 1 - Zona 1	86
5.4.2.2 MINA 2 - Zona 1	88
5.4.2.3 MINA 2 - Zona 2	90
5.5 Consideraciones del cierre de mina en la planificación de largo plazo.....	92
5.5.1 Cierre temporal.....	92
5.5.2 Cierre progresivo	92
5.5.3 Propuesta de cambio de uso del territorio	95
CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Relación diagramática entre rumbo y buzamiento. Fuente: ISRM, 1978.	18
Figura 3.1	Ubicación del área de estudio.	30
Figura 3.2	Acceso al área de estudio. Fuente: Plan de explotación 2015, Canteras del Distrito Capital.	31
Figura 3.3	Extensión geográfica de la Fase Antímamo. Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela.	33
Figura 3.4	Afloramiento con predominancia de mármol en el frente 1.	34
Figura 3.6	Ubicación de los frentes de explotación.	36
Figura 3.7	Tolvas de despacho de producto final.	37
Figura 5.1	Algunos agentes de erosión presentes en la zona de estudio.	46
Figura 5.2	Cercanía de las instalaciones de la cantera a la carretera Mamera–El Junquito.	47
Figura 5.3	Vías internas afectadas por el cauce de aguas.	48
Figura 5.4	Suelo siendo compactado, debido al tránsito de vehículos pesados y al acopio de material.	48
Figura 5.5	Emisión de partículas de polvo y gases a la atmosfera.	49
Figura 5.6	Ubicación de los puntos de medición de nivel de ruido.	50
Figura 5.7	Aprovechamiento agrícola en áreas de la cantera.	51
Figura 5.8	Pereza en las cercanías de la cantera.	52
Figura 5.9	Agua estancada presente en la cantera.	53
Figura 5.10	Acumulación de desechos industriales en distintos lugares de la cantera.	54
Figura 5.11	Advertencia en la entrada a Mina 1.	55
Figura 5.12	Roca retenida en la cerca que separa la cantera y la carretera.	56
Figura 5.13	Ubicación relativa del Cementerio del Oeste.	56

Figura 5.14	Canales de drenaje escalonados. Fuente: Joweers.com.....	58
Figura 5.15	Ejemplo de reforestación en niveles de extracción. Fuente: Somenson et. al, 2014.....	62
Figura 5.16	Tractor con ripper trasero de 3 puntas. Fuente: Liebherr.com	62
Figura 5.17	Acacia Mangium. Fuente: Ferrari y Wall (2004)	63
Figura 5.18	Productos del Complejo Siderúrgico Nacional. Fuente: www.csn.gob.ve.....	65
Figura 5.19	Zonificación de la zona de estudio geotécnico.....	66
Figura 5.20	Curvas Esfuerzos vs Deformación.	68
Figura 5.21	Representación gráfica de los esfuerzos de ZONA 1	69
Figura 5.22	Curvas Esfuerzos vs Deformación.	70
Figura 5.23	Representación gráfica de los esfuerzos de ZONA 2	71
Figura 5.24	Concentración de polos y familias de diaclasas en la MINA 1 - Zona 1.	73
Figura 5.25	Concentración de polos y familias de foliación en la MINA 1 - Zona 1.....	73
Figura 5.26	Estudio de falla plana en MINA 1 - Zona 1.	74
Figura 5.27	Estudio de falla en cuña en MINA 1 - Zona 1.....	74
Figura 5.28	Vista de perfil de la configuración de la falla en cuña 1 de MINA 2 - Zona 1.....	75
Figura 5.29	Vista en 3D de la configuración de la falla en cuña 1 MINA 1 - Zona 1.....	75
Figura 5.30	Concentración de polos y familias de diaclasas en la MINA 2 - Zona 1.	77
Figura 5.31	Concentración de polos y familias de foliación en MINA 2 - Zona 1.....	78
Figura 5.32	Estudio de falla plana en MINA 2 - Zona 1	78
Figura 5.33	Estudio de falla en cuña en MINA 2 - Zona 1.....	79
Figura 5.34	Configuración del talud y resultados del análisis mecánico de la falla plana de MINA 2 - Zona 1.....	80
Figura 5.35	Vista en 3D de la configuración de la falla plana de MINA 2 - Zona 1.....	81

Figura 5.36	Concentración de polos y familias de diaclasas en la MINA 2 - Zona 2.	82
Figura 5.37	Concentración de polos y familias de foliación en la MINA 2 - Zona 2.....	83
Figura 5.38	Estudio de falla plana en MINA 2 - Zona 2.	83
Figura 5.39	Estudio de falla en cuña en MINA 2 - Zona 2.....	84
Figura 5.40	Configuración del talud y resultados del análisis mecánico de la falla plana de MINA 2 - Zona 2.....	85
Figura 5.41	Vista en 3D de la configuración de la falla plana de MINA 2 - Zona 2.....	86
Figura 5.42	MINA 1 - Zona 1.....	87
Figura 5.43	MINA 2 - Zona 1.....	88
Figura 5.44	MINA 2 - Zona 2.....	90
Figura 4.45	Topografía de la zona de estudio para el año 2016.	94
Figura 4.45	Topografía de <i>Pit Final</i> planteada para la zona de estudio.	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Tipos de rehabilitación en canteras.	14
Tabla 2.2	Parámetros de la clasificación y sus ratings.	22
Tabla 2.3	Clasificación individual según la abertura de las diaclasas.	23
Tabla 2.4	Clasificación individual según la persistencia de las diaclasas.	23
Tabla 2.5	Clasificación individual según la rugosidad de las diaclasas.	23
Tabla 2.6	Clasificación individual según el relleno de las diaclasas.	23
Tabla 2.7	Clasificación individual según la meteorización de las diaclasas	24
Tabla 2.8	Clasificación del macizo rocoso determinado del total de Ratings.	24
Tabla 2.9	Valores de F1, F2, y F3 para el SMR.	25
Tabla 2.10	Factor de ajuste según el método de excavación.	25
Tabla 2.11	Calidad del talud rocoso según el índice SMR.	26
Tabla 5.1	Identificación de Impactos Ambientales Estudiados.	43
Tabla 5.2	Calificación cuantitativa según el nivel de impacto ambiental generado.	44
Tabla 5.3	Contenido de carbono y materia orgánica en los suelos de la cantera.	45
Tabla 5.4	Evaluación del nivel de ruido en la periferia de la cantera.	50
Tabla 5.5	Registro de enfermedades ocupacionales causadas por mosquitos.	53
Tabla 5.6	Ubicación geográfica de las subzonas estudiadas.	67
Tabla 5.7	Resultados de los ensayos de compresión simple.	67
Tabla 5.8	Valores promedios de los ensayos UCS con su respectiva desviación estándar	68
Tabla 5.9	Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción.	69
Tabla 5.10	Resultados de los ensayos de compresión simple	69

Tabla 5.11	Valores promedios de los ensayos UCS con su respectiva desviación estándar 70	
Tabla 5.12	Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción.	70
Tabla 5.13	Discontinuidades presentes en el talud de MINA 1 - Zona 1.....	72
Tabla 5.14	Familias principales de la MINA 1 - Zona 1.....	72
Tabla 5.15	Resultados del análisis mecánico de la Cuña 1 en MINA 1 - Zona 1.	75
Tabla 5.16	Discontinuidades presentes en el talud de MINA 2 - Zona 1.....	76
Tabla 5.17	Familias principales de la MINA 2 - Zona 1.....	77
Tabla 5.18	Discontinuidades presentes en el talud de MINA 2 - Zona 2.....	81
Tabla 5.19	Familias principales de la MINA 2 - Zona 2.....	82
Tabla 5.20	Estimación del RQD para MINA 1 - Zona 1.....	87
Tabla 5.21	Clasificación RMR para MINA 1 - Zona 1.	87
Tabla 5.22.	Clasificación SMR para MINA 1 - Zona 1.....	88
Tabla 5.23	Estimación del RQD para MINA 1 - Zona 1.....	89
Tabla 5.24	Clasificación RMR para MINA 2 - Zona 1.	89
Tabla 5.25	Clasificación SMR para MINA 2 - Zona 1.....	89
Tabla 5.26	Estimación del RQD para MINA 1 - Zona 1.....	90
Tabla 5.27	Clasificación RMR MINA 2 - Zona 1	91
Tabla 5.28	Clasificación SMR para MINA 2 - Zona 2.....	91
Tabla 5.29	Clasificación SMR para MINA 2 - Zona 2 con talud reconfigurado.	93

INTRODUCCIÓN

Es tendencia a nivel internacional el incluir los principios de la sustentabilidad en las prácticas industriales de cualquier índole, siendo la minería tecnificada una de las actividades económicas con mayor compromiso al respecto, sin embargo, aún hay mucho camino que recorrer en este sentido.

Tomando en cuenta lo antes expuesto, no solo es necesario que las metas u objetivos a largo plazo de una explotación minera estén claramente establecidos, también cobra significativa importancia que dicha planificación vaya de la mano con los criterios de conservación y recuperación ambiental respectivos, de tal forma que, una vez alzada la vista hacia el futuro, se determinen las medidas adecuadas para conocer y mantener el rumbo correcto que las labores mineras deben adquirir durante el tiempo de vida de la explotación. Es allí donde interviene el cierre de mina, proceso mediante el cual se busca proteger la integridad humana y ambiental, a través de la ejecución de labores y estudios que permitan garantizar la estabilidad fisicoquímica del entorno, así como un uso beneficioso del territorio, una vez culminadas las operaciones mineras.

La presente investigación plantea la integración de criterios de cierre de mina a la planificación de largo plazo de “Canteras del Distrito Capital”, empresa minera productora de agregados para la construcción, la cual se encuentra bajo la pertenencia del Gobierno del Distrito Capital y está ubicada en el sector Mamera, vía a El Junquito, Municipio Libertador.

El capítulo I identifica el problema, los objetivos y la justificación de la investigación, mientras que el capítulo II refleja las bases teóricas bajo las cuales se fundamenta. El capítulo III refleja información física y geológica que caracteriza el área de estudio. El capítulo IV comprende una descripción de la metodología empleada. El capítulo V refleja los resultados de la investigación, junto al análisis derivado de los mismos. Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Con la intención fomentar la disminución de terrenos abandonados luego que la reserva mineral ha sido agotada y de prevenir los riesgos socioambientales consecuentes, la presente investigación plantea integrar los criterios de cierre de mina a la planificación a largo plazo de la cantera ubicada en Mamera, Municipio Libertador, perteneciente a “Canteras del Distrito Capital”.

Debido a la ausencia de políticas ambientales adecuadas que vayan de la mano con la explotación mineral, así como de estudios y herramientas útiles en la planificación de mina, la etapa inicial de producción de esta cantera se desarrolló de manera inapropiada. Esto se evidencia principalmente en la conformación de taludes realizada, la cual presenta actualmente algunos bancos con alturas superiores a los 30 m y pendientes cercanas a los 70°, configuración que por sus implicaciones no solo supone un riesgo, también entorpece el desenvolvimiento de las actividades mineras.

Esta investigación entra en concordancia con lo establecido en el decreto 1.257: “Normas para actividades susceptibles de degradar el ambiente”, en donde se establece la necesidad de cambio de uso del territorio una vez culminada la explotación mineral, la cual, según los estudios de prospección propios de la cantera, se estima que se mantendrá por al menos cincuenta años.

Considerando lo anteriormente expuesto, la presente investigación plantea la siguiente interrogante:

¿Qué criterios del cierre de mina deben considerarse en la planificación a largo plazo de la cantera ubicada en Mamera, Municipio Libertador, perteneciente a “Canteras del Distrito Capital”?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Plantear la integración de criterios de cierre de mina a la planificación a largo plazo de “Canteras del Distrito Capital”. Empresa ubicada en Mamera, Municipio Libertador.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir la influencia, asociada a la explotación mineral, sobre el ambiente en la zona de estudio.
- Plantear una serie de medidas preventivas, correctivas o mitigantes de los impactos estudiados.
- Evaluar la desincorporación de maquinaria, plantas de reducción de tamaño y otras infraestructuras de la cantera.
- Determinar aspectos geotécnicos de la roca aflorante, con la intención de estimar los parámetros de estabilidad de los taludes finales de mina.
- Proponer posibles cambios de uso de la propiedad, tomando en cuenta el Plan de Ordenamiento del Territorio correspondiente a la zona y las características ambientales y geotécnicas estudiadas.
- Proporcionar herramientas técnicas que fomenten el desarrollo de la planificación a largo plazo de la explotación mineral, considerando los criterios ambientales pertinentes al cierre de mina, en función del uso o los usos definidos.

1.3 Justificación

Actualmente, a nivel internacional y especialmente en el caso de Venezuela, es necesario sensibilizar a la población minera en términos de conservación ambiental y afectación social. Por esta razón, el cierre de mina es compromiso que debe estar unido al desarrollo de toda explotación mineral desde su inicio.

La cantera donde se efectúa la presente investigación no cuenta con una base técnica confiable que le permita planificar el desarrollo de la explotación a largo plazo, la cual debería considerar las variables ambientales y sociales presentes en el frente de extracción y sus cercanías.

Es importante la recuperación de las zonas ya explotadas, con el fin de evitar y mitigar los deslizamientos, la generación de cárcavas, rodadura de bloques rocosos o cualquier otro acontecimiento que ponga en riesgo a la población vecina.

Esta investigación beneficia principalmente al desarrollo de la cantera, ya que le proporciona herramientas para diseñar un plan de explotación adecuado, que considere los criterios del cierre de minas en la ejecución de las labores presentes y futuras. También beneficia a la comunidad aledaña, debido a que forma parte de una de las iniciativas necesarias para brindar equilibrio entre las labores mineras y el ambiente. Académicamente permite continuar y fomentar el auge de las líneas de investigación relacionadas con el cierre de minas, las cuales son relativamente recientes en Venezuela.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Zambrano Juan (2014): “Propuesta de cierre progresivo e integral de una cantera de áridos de construcción: caso Arenera O’toxo C.A., municipio Los Salias, Estado Miranda. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Esta investigación persiguió generar una planificación de cierre progresivo para dicha cantera, empleando la metodología de caracterización geomecánica de taludes planteada por Gonzales de Vallejo, Ferrer, Otuño y Oteo (2002).

Cazal D. Sasha E. (2013); “Propuesta de cierre de cantera Las Marías, estado Miranda, como aporte al Ministerio del Poder Popular de Petróleo y Minería en las políticas mineras”. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Esta investigación buscó describir los escenarios necesarios para desarrollar un cierre progresivo en el lugar de estudio. Una de las metas fue la caracterización de los impactos ambientales generados por la explotación mineral, así como plantear medidas preventivas, mitigantes y correctivas asociadas a los mismos.

Delgado M., R. (2011): “Plan de Recuperación Integral del Talud Lado Sur: Alternativa de Mitigación Ambiental en la Cantera El Melero, Estado Miranda”. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. El objeto de este trabajo fue 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.

Vielmam, J y Villasmil, M. (2010): “Planificación del cierre de mina: Importancia propuesta para su aplicación en Venezuela”. Instituto Universitario Tecnológico de Ejido, Mérida, Venezuela. Esta investigación se centró en generar un documento técnico de información referente a la planificación del cierre de mina a cielo abierto, que permita elaborar una propuesta de su aplicación, como punto de partida al Ministerio del Poder Popular para las Industrias Básicas y Minería (MPPIBAM).

Blanco H. Ysaida A. (2007): “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”. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Esta investigación tuvo como finalidad el dar un aporte a la planificación de cierre para el Cuadrilátero Ferrífero San Isidro (CFSI). Se realizaron inspecciones a los cerros en explotación y se establecieron los criterios necesarios para planificar el cierre del mismo. Considerando: equilibrio límite de masas rocosas, potencial de erosión, revegetación y rehabilitación laboral.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Medio ambiente

Múltiples autores se dan a la tarea de definir el ambiente, sin embargo, para efectos de esta investigación se considera apropiada la definición planteada por Zaror (2002), la cual afirma que el medio ambiente es un sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química, biológica, y sociocultural, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones.

Más específicamente, el medio ambiente es el sistema de factores físicos y bióticos con los que interactúa el ser humano, a la vez que se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades.

2.2.2 Minería y desarrollo sustentable

La definición y concepto de desarrollo sustentable tiene su origen en el informe “Nuestro futuro común” que en abril de 1987, presentó la Dra. Gro Harlem Brundtland ante la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas. La definición, tal como aparece en el informe citado es: "Satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas".

Según Salinas (2004), el concepto de desarrollo sustentable implica el manejo o gestión de los recursos naturales, de los recursos económicos y muy especialmente los recursos humanos, con el objeto de aumentar el bienestar humano, con elementos que no deben disminuir a lo largo del tiempo y entre los cuales se incluyen el aumento del ingreso real per cápita, las mejoras sustanciales en salud, nutrición, vivienda, educación, trabajo y recreación, mejoras en los derechos humanos (libertades básicas físicas y espirituales), entre otros.

Para aplicar este principio a la actividad minera y teniendo en cuenta el propósito de esta investigación, se analiza la definición sugerida por Bittán (2013), la cual propone que la minería sustentable consiste en la práctica de extracción de minerales de forma responsable, subsanando el menoscabo que dicha actividad ocasione al ecosistema y que a su vez genere beneficios sociales y económicos que contribuyan con el desarrollo de las poblaciones mineras y de la región, mejorando la calidad de vida de las personas dedicadas a esta actividad.

Se debe perseguir un balance entre la perturbación o impacto causado y la capacidad del planeta para acomodar el cambio, realizando una minería equilibrada e integral, entendiendo esto como la capacidad de construir capital humano y social que perdure aún después del eventual agotamiento de los recursos.

2.2.3 Principales impactos ambientales de la minería a cielo abierto

Según Cazal (2013), cualquier método de explotación mineral genera alteraciones en el territorio donde acontece, tanto a nivel superficial como a nivel del subsuelo. Durante la etapa de exploración y desarrollo, estos impactos son generalmente de corto alcance y entre ellos se encuentran:

- Modificación superficial de la topografía debido a las labores de acceso e investigación.
- Particulado atmosférico debido a la circulación de vehículos, remoción de la cobertura vegetal y labores de perforación.
- Alteración del suelo, vegetación e hidrología local.
- Incremento en los niveles de ruido.
- Conflictos por la propiedad y sus usos.

Las labores de explotación mineral afectan la totalidad del área destinada para el proyecto y en ocasiones puede afectar también a las zonas circunvecinas (Cazal, 2013). Los principales impactos asociados, clasificados según el componente que afectan, son los siguientes:

1. **Impactos en el componente hídrico:** Asociado a la afectación de los cuerpos de agua, generalmente por contaminación mediante disolución de metales o sustancias tóxicas y partículas en suspensión, generando cambios en la calidad físico química. También se pueden señalar las alteraciones sobre la dinámica del agua superficial y subterránea, modificando su curso o caudal por ejemplo.
2. **Impactos en el componente atmosférico:** Se relaciona con las emanaciones de gases tóxicos y material particulado, producto de las labores mineras básicas (arranque, carga y acarreo), así como de las de beneficio mineral. Está asociado también a al incremento en los niveles de ruido, uno de los peligros ocupacionales más comunes.
3. **Impactos en el componente litosférico:** Hace referencia a la modificación de la topografía original de la zona, a la remoción de la masa y a la pérdida del suelo. Se relaciona también con la contaminación del suelo y el aumento de los procesos

erosivos en el mismo, así como en la generación de inestabilidad y movimiento en el macizo rocoso.

4. **Impactos en el componente biótico:** Representa la influencia sobre la flora y fauna de la región, relacionada con la remoción o pérdida de la cobertura vegetal y la alteración de los hábitats de las comunidades faunísticas, mediante la contaminación por sustancias tóxicas o material particulado en suspensión, por ejemplo.
5. **Impactos en el componente social:** Está relacionada con la interacción entre la mina y los entes sociales cercanos. Entre los principales impactos se encuentra:
 - Alteración y destrucción de áreas turísticas.
 - Se producen conflictos por los derechos de utilización de tierras.
 - Se pueden generar asentamientos humanos no planificados correctamente. Por la contaminación del suelo y el agua se disminuye el rendimiento de las labores de agricultores y pescadores.
 - Se provoca un impacto económico negativo por el desplazamiento de otras actividades económicas locales.

2.2.4 Pasivos ambientales mineros

Somenson et al. (2014), afirman que en los casos en los cuales las condiciones de abandono de canteras generan un actual o potencial costo o riesgo para terceros (incluyendo sus intereses difusos, tales como la protección de los recursos naturales o la calidad ambiental), pueden definirse como situaciones donde existen uno o más pasivos ambientales.

Oblasser y Chaparro (2008), definen un pasivo ambiental minero como todo sitio, faenas o instalaciones mineras, incluyendo sus residuos, abandonados o paralizados, que pueden constituir un riesgo significativo para la vida o la salud de las personas o el medio ambiente.

Los pasivos ambientales, especialmente aquellos más riesgosos o conflictivos, deben ser restaurados o controlados, entendiendo por ello a la ejecución de tareas tales como la remediación de suelos contaminados, la recuperación de funciones ecológicas, la restauración paisajística y/o la rehabilitación de sitios para usos pre-determinados.

2.2.5 Remediación ambiental

Rivera (2011), subraya este término como un conjunto de procedimientos de mejora y prevención de las causas que provocan impactos en el ambiente. O bien, conjunto de medidas encaminadas a reducir, remediar o cambiar las condiciones de impacto ambiental.

La remediación de áreas sometidas a extracción minera puede entenderse desde varios puntos de vista según se dirija:

- Ordenación en condiciones similares a las existentes antes de la explotación.
- Recuperación natural de la zona con un tratamiento adecuado de las causas de impacto.
- Transformación del área para nuevos usos.

Por otra parte, Gómez (1.999), opina que las medidas correctoras o de remediación están encaminadas a:

- Evitar, disminuir, modificar, curar o compensar el efecto de una acción antrópica en el Medio Ambiente (aminorar los impactos intolerables, y minimizar todos en general).
- Aprovechar mejor las oportunidades que brinda el medio para el mejor éxito de la acción programa.

Esta misma fuente, señala que los tipos de medidas remediales o correctoras pueden darse tanto en la fase de construcción, explotación y/o abandono. Estas pueden ser:

- a) **Minimizadoras:** Dirigida a alteraciones en la fase operativa de la acción.
- b) **Correctoras:** Se generan para evitar impactos tras el desarrollo de la acción antrópica.
- c) **Compensatorias:** Impactos inevitables que serán compensados en otras zonas (restituyendo lo destruido en otro lugar, siempre y cuando esto sea posible).

No obstante, es preciso mencionar que las medidas citadas están condicionadas por el coste de las mismas, viabilidad técnica, eficacia, facilidad de implantación, mantenimiento y control.

2.2.6 Cierre de minas y su planificación

El aprovechamiento de los recursos mineros pasa por las etapas de exploración, desarrollo, operación y cierre. No se avanza a una siguiente etapa hasta no haber culminado la anterior, siendo la última de éstas el cierre definitivo de la mina. Una mina, además, puede tener varias zonas productivas y diversas actividades dentro de toda su área geográfica. Cuando una de éstas deja de operar se procede a su cierre, considerándose dicha acción como un “cierre progresivo”. Los principales objetivos del cierre de minas son:

- La protección de la salud humana y el medio ambiente mediante el mantenimiento de la estabilidad física y química.
- Un uso beneficioso de la tierra una vez que concluyan las operaciones mineras (por ejemplo, hábitat para la fauna silvestre, campos de pastoreo, recreación, o futura exploración y explotación minera).

La estabilidad física está relacionada con los taludes, es necesario asegurar unos parámetros adecuados de estabilidad que eviten los derrumbes y deslizamientos en las áreas locales y aguas abajo, así como medidas que protejan contra la erosión eólica y del agua. La estabilidad química se refiere a la contención y tratamiento de sustancias contaminantes, con el fin de evitar que estas sean introducidas al medio ambiente. De gran importancia constituyen, los recursos humanos que hayan quedado disponibles cuando se agoten las actividades productivas en las minas. Por lo tanto, la reinserción laboral en actividades alternativas constituye una de las medidas que se deben incluir y cumplir como parte de dicha planificación.

Estas actividades se planean a partir de los recursos de que dispone la empresa, tienen diferentes escenarios y van desde la utilización del conocimiento geológico-minero como la base para una nueva industria u otra basada en el conocimiento (fabricación de software y otros productos) así como la utilización del patrimonio en el turismo, la docencia y la investigación científica. El cierre puede ser temporal o definitivo, según se planifique o sea posible reanudar la explotación o no; y total o parcial, según se contemple el cese de las actividades en toda la mina o en parte de ella.

De ahí que las empresas mineras deben adoptar un compromiso con el gobierno nacional y territorial, así como también con las comunidades afectadas desde su perspectiva de los cambios sociales ocasionados, por ejemplo, la disminución de ofertas de puestos de trabajo y cómo se le dará solución a esta problemática.

Según Salazar y Montero (2014): “la planificación del cierre es un proceso complejo y en muchos casos, determina el compromiso social de las industrias mineras. Dicho proceso, es tan complejo como el estudio de factibilidad del proyecto minero. La planificación se mide en décadas, lo que significa la necesaria actualización a lo largo de la vida de la mina”. Por ello los planificadores deben tener en cuenta parámetros sociales, económicos y ambientales cambiantes más allá de una generación.

El cierre de minas significa un proceso continuo, el cual inicia con los estudios de pre-factibilidad de la etapa de ingeniería y continúa a lo largo del ciclo de vida de la mina, incluso se prolonga hasta la etapa de post cierre.

Según el Concejo Internacional de Minería y Metales (por sus siglas en inglés *ICMM*), la planificación efectiva del cierre debería significar resultados positivos tales como:

- El compromiso con las partes afectadas e interesadas será más sólido y transparente;
- Las comunidades participarán en la planificación e implementación de las medidas que apuntalan un cierre exitoso;
- Las decisiones relacionadas con el cierre tendrán un mayor respaldo de los grupos de interés;
- Será más fácil el manejo de la planificación del cierre;
- Se mejorará la precisión de los cálculos de costos del cierre;
- Se reducirá al mínimo el riesgo de incumplimiento de las normas;
- Los posibles problemas serán identificados en el momento adecuado;
- Habrá más posibilidades de encontrar la financiación adecuada para el cierre;
- Las posibles responsabilidades se reducirán progresivamente; y
- Se reconocerán y planificarán en forma adecuada las oportunidades para lograr beneficios duraderos.

Actualmente la planificación del cierre de mina ha cobrado marcada importancia tanto en el ámbito nacional como internacional. Por ello, las políticas empresariales deberán estar enfocadas a:

- **Prevención de la contaminación:** es más asequible evitar los problemas que intentar arreglarlos posteriormente. Si está regulado que una empresa tiene la obligación de entregar las áreas con el mínimo de afectación posible al final del ciclo de vida de la mina, dicha entidad debe crear las condiciones necesarias para prevenir la contaminación durante este lapso de tiempo.
- **Planificación financiera del cierre:** varias han sido las minas abandonadas o que han cerrado como resultado de malas condiciones de mercado, baja rentabilidad e incluso por conflictos nacionales. Es necesario que exista algún tipo de seguridad financiera para asegurar que el cierre de minas pueda ser financiado. Para garantizar la disponibilidad de estos fondos que se emplearán en las actividades de cierre, la empresa deberá tener una provisión creada desde el mismo inicio del proceso de explotación de la mina.

- **Sostenibilidad:** las minas al igual que las empresas se venden, se compran o son adquiridas por otros y por ello la administración cambia. El principal objetivo debe ser desarrollar una estrategia con respecto a la finalidad que deben tener las instalaciones, maquinarias y demás pasivos mineros, de forma que sobreviva a cualquiera de los cambios y no dependa de las buenas intenciones de sus directores.
- **Participación pública:** se requiere que exista una estrecha comunicación gobierno – empresa – comunidad, de forma tal que se establezca el diálogo consensuado entre cada uno de ellos en el corto, mediano y largo plazo y así como proyectar el uso final de la mina.

Para lograrlo se requieren en primer lugar voluntad política, varios años de trabajo, así como los respectivos análisis y discusiones con respecto al plan de cierre de minas. Se debe asegurar que el cierre sea técnico, económico y socialmente factible lo cual implica que las experiencias adquiridas sirvan de perfeccionamiento para dicho proceso. Por lo cual exige una revisión periódica y crítica para reflejar los cambios de circunstancias.

2.2.7 Planificación minera a largo plazo

La planificación, vista desde una perspectiva amplia de sí misma y aplicada a los objetivos de la presente investigación, puede definirse como el establecimiento de objetivos o metas y la elección de los medios más convenientes para alcanzarlos (Armas et. al, 2006). Planificar significa, literalmente, hacer planes, si estos se documentan adecuadamente se denominan proyectos, los cuales son un conjunto de instructivos que permiten realizar una acción por un equipo de personas diferentes al que la ha planificado.

El objetivo del planeamiento a largo plazo minero es identificar y medir el máximo valor posible para la explotación y el procesamiento de los recursos de la operación, considerando los escenarios futuros y los objetivos estratégicos de la misma. De esta manera, la planificación estratégica en minería permite encontrar las oportunidades de desarrollo de la operación en términos de largo plazo, donde el uso de nuevas tecnologías puede desempeñar un papel clave (ESAN, 2016).

La toma de decisiones de planificador minero de largo plazo debe, entre otras cosas, respetar las reglas que gobiernan la geomecánica de la mina, considerar los procesos físico-químicos, respetar las regulaciones medioambientales y considerar la diversidad de la geología y la ubicación espacial del recurso minero.

2.2.8 Criterios para analizar alternativas de restauración ambiental

A la hora de analizar las alternativas de remediación ambiental, para esta investigación se considera apropiado evaluar las consideraciones planteadas por Somenson et al. (2014), ya que éstas están dirigidas a los casos particulares de áreas afectada por minería.

Los criterios propuestos por Somenson et al. (2014) para analizar las alternativas de restauración ambiental incluyen:

- El tipo de explotación y sus características específicas.
- El entorno medioambiental y socioeconómico en el que se encuentra la explotación y el inmediatamente próximo. Dentro de éstos, pueden distinguirse dos grupos de factores:
 - Geocológicos (clima, geología, litología, fauna, flora, hidrología, paisaje, etc.).
 - Culturales (demografía, economía e historia).
- Los usos del suelo definidos por las reglamentaciones de ordenación del territorio de la zona, incluyendo los usos anteriores a la explotación.
- Los intereses de las entidades locales, como son los ayuntamientos y sus vecinos.
- El acuerdo, en su caso, con el propietario de los terrenos.
- La sostenibilidad en el tiempo de la actuación de restauración.
- Los costes derivados de los aspectos anteriores.

Adicional a esto, los usos posteriores que se prevean desarrollar en los predios restaurados puede considerarse un factor determinante, ya que estos están condicionados entre sí, volviendo más o menos viables los diferentes usos posibles del suelo dependiendo de las características del mismo.

En la tabla 2.1 se muestra los requerimientos mínimos con los que deben contar las zonas rehabilitadas, dependiendo del posible uso futuro que esté previsto para las mismas.

Tabla 2.1 Tipos de rehabilitación en canteras.
Fuente: Somenson et al. (2014).

Tipo de uso	Características	Aspectos Necesarios
Agrícola	• Plantaciones • Frutales. • Cereales. • Vides. • Pastizales. • Forrajes.	• Pendientes suaves. • Sistema de drenaje. • Suelo fértil bien constituido. • Tipo de cultivo adaptado a la disponibilidad de agua y a las características del suelo
Forestal	• Plantación de árboles para la explotación de madera. • Incremento de la biodiversidad. • Lucha contra la erosión, etc.	• Pendientes moderadas • Suelo fértil bien reconstituido. • Sistema de drenaje. • Selección de especies. • .
Hábitat Natural	• Recuperación del entorno natural o creación de un nuevo hábitat. Reserva de flora y fauna.	• Suelo fértil bien reconstituido. • Sistema de drenaje. • Selección de especies. • Modelado de Orillas y pit final.
Actividades Recreativas	• Senderismo. • Contacto con la naturaleza. • Observatorio de especies o área de interés geológico. • Escalada. • Caza. • Pesca. • Deportes náuticos. • Campos deportivos. • Aeródromos. • Zoológicos. • Jardín Botánico. • Museos.	• Estabilidad de los taludes. • Buenas prácticas geotécnicas del suelo restaurado. • Accesos. • Proximidad a núcleos urbanos. • Medidas de seguridad para los usuarios. • Buen acondicionamiento del pit final.
Urbanismo	• Urbanizaciones. • Parques y zonas verdes. • Auditorios. • Iglesias. • Bodegas	• Estabilidad de los taludes. • Buenas prácticas geotécnicas del suelo restaurado. • Accesos. • Proximidad a núcleos urbanos. • Medidas de seguridad para los usuarios. • Infraestructuras (líneas eléctricas, alcantarillado, agua potable, carreteras, etc). • Buen acondicionamiento y sellado del hueco (vertederos, depósitos, etc.)
Industrial	• Suelos para establecimiento de polígonos industriales. • Aparcamientos. • Depósito de agua para consumo o riego. • Piscifactoría.	
Vertedero de Residuos	• Almacenamiento controlado de residuos.	

2.2.9 Planificación territorial: Sector Mamera – El Junquito

La Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio (LOPYGOT), establece en su artículo 88 la necesidad de crear un Plan de Ordenamiento Urbanístico en cada municipio de la Nación. Por esta razón, la Alcaldía de Caracas desarrolla el proyecto “Ciudad Comunal Ecosocialista”, el cual busca una planificación democrática y una nueva institucionalidad, que vaya de la mano con los consejos comunales para promover el desarrollo social y la prosperidad económica productiva.

En este sentido, la Dirección de Planificación Urbana de la Alcaldía de Caracas, en conjunto con la comunidad del sector Mamera – El Junquito, plantean la conformación de áreas urbanizadas en dicho sector. Atendiendo de esta forma la fuerte demanda actual y futura de viviendas aptas para la población creciente, esto según la Proyección de la Población 2000 – 2050 publicada por el Instituto Nacional de Estadística. Actualmente, en algunos tramos cercanos a la carretera Mamera – El Junquito, se llevan a cabo labores de movimiento de tierras, las cuales conformarán las bases de proyectos de construcción civiles que van de la mano con la Gran Misión Vivienda Venezuela y la Gran Misión Barrio Nuevo Barrio Tricolor.

Una de las bases del proyecto Ciudad Comunal Ecosocialista, según Fundacaracas (2016), es la propuesta de “Ciudades Compactas”, planteada en 2015 en el Encuentro de Ciudades Sostenibles realizado en República Dominicana, en donde se evaluó la configuración actual de las ciudades que fragmentan la vida del sujeto en el habitat o vivienda del mismo, ya que éste, en la mayoría de los casos, se encuentra alejado del lugar donde trabaja y donde se recrea o pasa su tiempo de ocio. La propuesta de “Ciudades Compactas” busca que estos tres ámbitos en la vida del sujeto tengan puntos de encuentro o intersección, de manera que el sujeto no tenga que desterritorializarse para trabajar o recrearse.

2.2.10 Revegetación

Según Dalmaso (2010), en la búsqueda de la satisfacción de sus necesidades el hombre interactúa con la naturaleza generando diversos tipos de impacto, por lo general negativos. La vegetación es el componente que más rápidamente evidencia los impactos y el que mejor permite acciones de recuperación. Al conjunto de acciones que se llevan a cabo para recuperar la cobertura vegetal de un área degradada, y por ende a una mejora del sistema natural, se la denomina restauración ecológica. El principal objetivo de la restauración es reparar el ecosistema de la manera más integral posible.

La revegetación, como una forma de restauración, intenta restablecer las comunidades vegetales llevándolas a un estado lo más próximo posible al que existía previo al impacto. Para la "Society of Ecological Restoration Internacional and Policy Working Group" (2004), un ecosistema restaurado debe contener los siguientes atributos:

1. Presencia de especies nativas.
2. La participación de grupos funcionales para el mantenimiento de la estabilidad en el tiempo.
3. Capacidad de un medio físico que permita sostener las poblaciones en forma reproductivas.
4. Un funcionamiento normal.
5. Integración con el paisaje.
6. Eliminación del potencial de riesgo.
7. Resiliencia a disturbios naturales.
8. Autosustentabilidad.

2.2.10.1 Propiedades de la materia orgánica en el suelo

La materia orgánica que contiene el suelo procede tanto de la descomposición de los seres vivos que mueren sobre ella, como de la actividad biológica de los organismos vivos que contiene: lombrices, insectos de todo tipo, microorganismos, etc. Dentro de las propiedades de la materia orgánica, se rescatan las siguientes afirmaciones de Dorronsoro (2017) por su validez para la presente investigación:

- Las sustancias húmicas tienen un poder aglomerante, las cuales se unen a la fracción mineral y dan buenos flóculos en el suelo, originando una estructura grumosa estable, de elevada porosidad, lo que implica que la permeabilidad del suelo sea mayor.

- Tiene una gran capacidad de retención de agua lo que facilita el asentamiento de la vegetación, dificultando la acción de los agentes erosivos.

2.5.11 Evaluación de taludes en roca

Castillejo (1993), señala que el macizo rocoso es un medio heterogéneo y discontinuo cuyas propiedades resistentes y deformacionales no pueden ser medidas directamente en laboratorio, existiendo una diferencia muy apreciable entre los valores que se obtienen en los ensayos de laboratorio y los que se obtienen mediante medidas in situ que afectan, en el ensayo, a un volumen de terreno mayor”.

El desarrollo de los trabajos de campo en afloramientos, permite obtener información necesaria para evaluar el comportamiento geotécnico de los macizos rocosos, planificar las fases de investigación más avanzadas e interpretar los resultados que se obtengan de las mismas. Debido a la gran variedad de condiciones y propiedades, la caracterización de los macizos puede ser una tarea compleja, sobre todo si se presenta conjuntamente en materiales rocosos y suelos, zonas fracturadas, tectónizadas y/o meteorizadas.

2.2.11.1 Caracterización del diaclasamiento del macizo rocoso

Las discontinuidades condicionan de una forma definitiva las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos (Gonzales de Vallejo et al. 2002). Éstas pueden ser descritas mediante la observación de afloramientos, de núcleos provenientes de perforaciones y por métodos de fotogrametría terrestre. En este trabajo se hace énfasis en la toma de datos obtenidos directamente de los cortes (taludes) en la roca, tomando como base y adoptando de acuerdo a la factibilidad, los métodos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Para caracterizar el diaclasamiento se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Orientación de discontinuidades

Se determina mediante el uso de brújula con clinómetro, definiendo el buzamiento (ángulo que forma la recta de máxima pendiente del plano con el plano horizontal) y el rumbo ortogonal con el buzamiento, medido desde el norte o el sur, bien sea hacia el este o el oeste (figura 2.1).

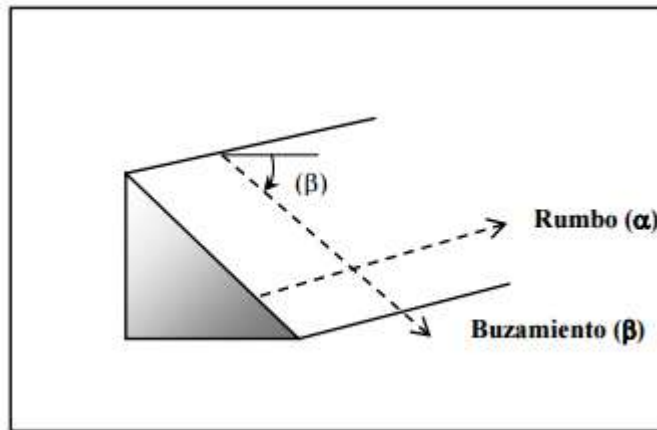


Figura 2.1 Relación diagramática entre rumbo y buzamiento. Fuente: ISRM, 1978.

2. Espaciado

Según Gonzales de Vallejo et al. (2002), el espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en la dirección perpendicular a dichos planos. Es recomendable utilizar el valor promedio y los valores modales máximos y mínimos para mejores resultados.

El espaciamiento de discontinuidades adyacentes controla el tamaño de bloques individuales de la roca intacta. En la medida que la frecuencia de fracturas es mayor, la cohesión global del macizo rocoso se hace menor.

3. Persistencia

Este término describe la extensión areal o el tamaño de la discontinuidad observada en el corte. Puede ser cuantificada en forma muy grosera observando las longitudes de las trazas en la superficie expuesta. Se considera como uno de los parámetros más importantes del macizo rocoso pero uno de los más difíciles de cuantificar. La determinación de la persistencia es de gran importancia principalmente en aquellas diaclasas orientadas en forma desfavorable a la estabilidad (ISRM, 1978).

4. Rugosidad

Se reconocen dos “órdenes” para clasificar las rugosidades de la pared de una discontinuidad, las cuales afectan las características de movimiento o la resistencia al corte de las discontinuidades. Las rugosidades mayores o de escala de primer orden son denominadas “ondulaciones”, y son consideradas que tienen una dimensión tal que es poco probable que sean cizalladas; para propósitos prácticos son ondulaciones en un plano. Las rugosidades

propiamente dichas, segundo orden, se denominan asperezas. Estas son suficientemente pequeñas que podrían ser cizalladas durante el movimiento a lo largo de una discontinuidad.

5. Abertura

Es la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de una diaclasa abierta. Los métodos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas limita el término abertura, a diaclasas abiertas donde el espacio es aire o agua; cuando se trata de una diaclasa abierta y rellena con arcilla, por ejemplo, utilizan el término ancho.

6. Relleno

Este término describe el material que se encuentra separando las paredes adyacentes de una discontinuidad, por ejemplo: calcita, cuarzo, clorita, yeso, arcilla, limo, brecha de falla, etc. la distancia perpendicular entre las paredes de la discontinuidad se le llama "ancho de la diaclasa rellena". Gonzales de Vallejo et al. (2002), señalan que la presencia del relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser reconocidos y descritos todos los aspectos referentes a sus propiedades y estado.

7. Flujo

El flujo a través de macizos rocosos ocurre principalmente a lo largo de discontinuidades; esto es debido a lo que se denomina "permeabilidad secundaria". Hay casos, sin embargo, como por ejemplo algunas rocas sedimentarias en que la "permeabilidad primaria" puede ser significativa, de forma que una gran parte del flujo ocurre a través de los poros de roca intacta.

8. Resistencia de las paredes de la discontinuidad

Influye en su resistencia al corte y en su deformabilidad. Depende del tipo de matriz rocosa, del grado de alteración y de la existencia o no del relleno. En discontinuidades sanas y limpias, la resistencia sería la misma de la matriz rocosa, pero generalmente es menor debido a la meteorización de las paredes: los procesos de alteración afectan en mayor grado a los planos de discontinuidad que a la matriz rocosa (Gonzales de Vallejo et al. 2002).

2.2.11.2 Parámetros del macizo rocoso

Gonzales de Vallejo et al. (2002), afirman que para la caracterización global del macizo rocoso a partir de datos de afloramientos, además de la descripción de sus componentes, la matriz rocosa y las discontinuidades, deben ser considerados otros factores representativos del conjunto, como son:

1. Número y orientación de las familias de discontinuidades

Tanto el comportamiento mecánico como la apariencia del macizo rocoso son dominados por el número de familias de diaclasas que se intersectan entre sí. El comportamiento mecánico se afecta porque el número de familias determina la extensión en el cual el macizo rocoso puede deformarse, sin que ocurra rotura de la roca intacta. La orientación de las diferentes familias con respecto a una obra o instalación sobre el terreno puede determinar, además, la estabilidad de la misma.

La intensidad o grado de fracturación y el tamaño de los bloques de matriz rocosa vienen dados por el número de familias de discontinuidades y por el espaciado de cada familia. Cada una de las familias queda caracterizada por su orientación en el espacio y por las propiedades y características de los planos.

Según Gonzales de Vallejo et al. (2002), la orientación media de una familia se evalúa mediante la proyección estereográfica o la construcción de diagramas de rosetas con los datos de las orientaciones medidas para cada discontinuidad.

2. Tamaño de bloque y grado de fracturación

Gonzales de Vallejo et al. (2002), afirman que el tamaño de los bloques que forman el macizo rocoso condiciona la forma definitiva de su comportamiento y deformaciones. La dimensión y la forma de los bloques están definidas por el número de familias de discontinuidades, su orientación, su espaciado y su continuidad.

La descripción del tamaño del bloque se puede realizar mediante el *Índice Volumétrico de Diaclasa* (J_v), descrito por Castillejo (1993) como la suma del número de diaclasas por metro para cada sistema presente. Representa el volumen de un cuerpo rocoso macroscópicamente integro, definido por las discontinuidades que intersectan el macizo, definiendo el volumen unitario del macizo por:

$$J_v = (1/F_1) + (1/F_2) + (1/F_3)$$

Donde los índices 1, 2 y 3 son referidos a tres sistemas de discontinuidad.

Gonzales de Vallejo et al. (2002), señalan que la fracturación del macizo rocoso está definida por el número, espaciado y condiciones de las discontinuidades, cualquiera que sea su origen y clase. El grado de fracturación se expresa habitualmente por el valor del índice RQD (*rock quality designation*), definido como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (según el eje). Palmström (1975), propuso una correlación entre el RQD y el índice volumétrico J_v que puede usarse donde no hayan sondeos:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v.$$

3. Grado de meteorización

La evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso se realiza por observación directa del afloramiento y comparación con los índices estándares. En ocasiones puede ser necesario fragmentar el trozo de roca para observar la meteorización de la matriz rocosa (Gonzales de Vallejo et al., 2002).

2.2.11.3 Clasificación de Bieniawski (RMR)

Bieniawski (1973), presentó un nuevo sistema de clasificación de macizos rocosos mediante un índice RMR (en inglés Rock Mass Rating). Inicialmente sólo definía el macizo rocoso de acuerdo a las características tomadas en campo, sin tener en cuenta la estructura a construir. En una segunda versión, Bieniawski estableció la forma actual: El índice numérico del macizo rocoso, RMR Básico, es independiente de la estructura a construir y se obtiene sumando los “ratings” de cinco (5) parámetros:

1. Resistencia de la matriz rocosa a la compresión simple.
2. RQD (índice de calidad de la roca).
3. Frecuencia de las diaclasas (espaciamiento).
4. Agua dentro del macizo rocoso.
5. Condición de las diaclasas (abertura, persistencia, rugosidad y meteorización).

Tabla 2.2 Parámetros de la clasificación y sus ratings.
Fuente: (Bieniawski, 1973).

Parámetro	Rango de valores				
1. Esfuerzo uniaxial compresivo	>250	100-250	50-100	25-50	-25
Rating	15	12	7	4	2-1-0
2. Índice de calidad de roca RQD	90-100	75-90	50-75	25-50	<25
Rating	20	17	13	8	3
3. Flujo de Agua	Comp. Seco	Mojado	Húmedo	Goteando	flujo
Rating	15	10	7	4	0
4. Espaciamiento (m)	>2	0.6-2	0.2-0.6	0.06-0.20	<0.06
Rating	20	15	10	8	5

Tabla 2.3 Clasificación individual según la abertura de las diaclasas.
Fuente: (Bieniawski, 1973).

Descripción	Separación de las caras (mm)	Rating RMR
Abierta	>5	0
Moderadamente abierta	1-5	1
Cerrada	0.1-1	4
Muy cerrada	<0.1	5
No tiene	0	6

Tabla 2.4 Clasificación individual según la persistencia de las diaclasas.
Fuente: (Bieniawski, 1973).

Descripción	Continuidad	Rating RMR
Muy pequeña	<1	6
Pequeña	1-3	4
Media	3-10	2
Alta	10-20	1
Muy alta	>20	0

Tabla 2.5 Clasificación individual según la rugosidad de las diaclasas.
Fuente: (Bieniawski, 1973).

Descripción	Rating RMR
Muy rugosa “W”	6
Rugosa “A”	5
Ligeramente rugosa “lig. A”	2
Suave “L”	1
Espejo de Falla	0

Tabla 2.6 Clasificación individual según el relleno de las diaclasas.
Fuente: (Bieniawski, 1973).

Descripción	Rating RMR
Relleno blando >5 mm	0
Relleno blando <5 mm	2
Relleno duro >5 mm	2
Relleno duro <5 mm	4
Ninguno	6

Tabla 2.7 Clasificación individual según la meteorización de las diaclasas.
Fuente: (Bieniawski, 1973).

Descripción	Rating RMR
Descompuesta	0
Muy meteorizada	1
Moderadamente meteorizada	3
Ligeramente meteorizada	5
No meteorizada	6

De este valor (*Rating*) hay que restar un factor de ajuste, que es función de la orientación de las diaclasas, definido cualitativamente y que tiene valores distintos según se aplique a túneles, cimentaciones o taludes. El resultado de esta resta es el índice final RMR, que puede variar entre 0 y 100 (Tabla 2.7). Los macizos rocosos se clasifican en 5 clases según el valor de dicho índice.

Tabla 2.8 Clasificación del macizo rocoso determinado del total de Ratings.
Fuente: (Bieniawski, 1973)

RATING	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Clase	I	II	III	IV	V
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca justa	Roca mala	Roca muy mala
Cohesión del macizo rocoso (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Ángulo de fricción interna (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

2.2.11.4 Clasificación de Romana – Índice SMR

La clasificación SMR (Slope Mass Rating) propuesta por Romana (1993), se basa en una corrección del RMR, para poder predecir el comportamiento de los taludes en roca con mayor precisión. Se obtiene del índice RMR básico restando un “factor de ajuste” que es función de la orientación de las discontinuidades (y producto de tres subfactores) y sumando un “factor de excavación” que depende del método utilizado.

- F_1 depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y de la cara del talud. Varía entre 1.00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0.15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja).
- F_2 depende del buzamiento de la diaclasa en rotura plana. En cierto sentido es una medida de probabilidad de la resistencia al esfuerzo cortante de la diaclasa. Varía

entre 1 (para diaclasa con buzamiento superior a 45°) y 0.15 (para diaclasas con buzamiento inferior a 20°).

- F_3 refleja la relación entre los buzamientos de la discontinuidad β_j y del talud β_s .

Para determinar los valores correspondientes a F_1 , F_2 y F_3 , puede hacerse uso de la siguiente tabla:

Tabla 2.9 Valores de F_1 , F_2 , y F_3 para el SMR.
Fuente: (Romana, 1993).

Tipo de Falla	Ángulos Auxiliares	Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
Plana	$ \alpha_j - \alpha_s $	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
Cuña	$ \alpha_i - \alpha_s $					
F1		0,15	0,4	0,7	0,85	1
Plana y Cuña	β_j ó β_i	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
F2		0,15	0,4	0,7	0,85	1
Plana	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
Cuña	$\beta_i - \beta_s$					
F3		0	-6	-25	-50	-60

Dónde α_s y β_s se refieren al rumbo y buzamiento del talud respectivamente. De esa misma forma, α_j y β_j se relacionan con la discontinuidad que genera falla plana; mientras que α_i y β_i lo hacen con la recta de intersección que produce una falla en cuña, aunque en este último caso, para simplificar el cálculo suele utilizarse el azimut en lugar del rumbo.

- F_4 hace referencia a la influencia del método de excavación utilizado en la estabilidad del talud. Aquellos métodos que originen un mayor residuo o fisuren las capas superficiales del talud, favorecerán el desprendimiento de fragmentos y bloques rocosos, precipitándose ladera abajo hacia la zona de explanación (ver tabla 2.10).

Tabla 2.10 Factor de ajuste según el método de excavación.
Fuente: (Romana, 1993).

Método	Talud Natural	Precorte	Voladura Suave	Voladura o Mecánico	Voladura Deficiente
F4	+15	+10	+8	0	-8

Una vez determinados todos los factores, se procede a evaluar el SMR aplicando la formula:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

Tabla 2.11 Calidad del talud rocoso según el índice SMR.
Fuente: (Romana, 1993).

Clases de Estabilidad					
Caso	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Buena	Muy buena
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

2.2.11.5 Tipos de falla

Los diferentes tipos de falla están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades determinan la situación de los planos de falla (Gonzales de Vallejo et al., 2002). Los tres principales mecanismos de rotura de un talud rocoso son:

1. Falla Plana

Cuando el deslizamiento corresponde a uno o varios bloques a favor de planos de deslizamiento, las roturas se llaman planas. El deslizamiento plano suele producirse cuando la masa no esté confinada lateralmente. Normalmente ocurre en taludes naturales o en desmontes cuando las discontinuidades tienen casi la misma dirección del buzamiento que la superficie natural del talud. La tipología de falla plana es muy frecuente y puede ser de máxima peligrosidad.

2. Falla en Cuña

Cuando el bloque que desliza está limitado por dos o tres juntas se trata de una rotura por cufia. Ocurre en taludes cortados por dos superficies de discontinuidades, no paralelas, de tal manera que la línea de intersección de ambos planos aflora en el talud y buza en sentido desfavorable. Normalmente este tipo de rotura es limitado por cuatro caras, dos de planos de discontinuidades, dos de superficie de roca, y a veces incluye un plano correspondiente a la grieta de tracción.

2.2.12 Instrumentos legales para el cierre de minas en Venezuela

Venezuela posee una extensa y variada legislación minera-ambiental, sin embargo, para efectos de alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación, solo se consideran las siguientes leyes.

2.2.12.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela

El documento de mayor rango en la escala legal es la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), publicada en Gaceta Oficial del jueves 30 de diciembre de 1999, N° 36.860. Ésta expone, en su Artículo 106, que “El Estado atenderá a la defensa y conservación de los recursos naturales de su territorio y la explotación de los mismos estará dirigida primordialmente al beneficio colectivo de los venezolanos y las venezolanas”.

Así mismo, se refiere a los derechos ambientales en los artículos 127, 128 y 129, donde se establece como un derecho y un deber proteger y mantener el ambiente y que todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas por estudios de impacto ambiental y socio cultural.

2.2.12.2 Ley Orgánica del Ambiente (LOA)

Publicada en G.O. N° 5.833 Extraordinario, del 22 de diciembre de 2006, con lo cual queda derogada la anterior. Esta ley establece los principios para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente en beneficio de la calidad de vida. En su Artículo 19, define las actividades susceptibles de degradar el ambiente; en el ordinal primero expresa “las que directa o indirectamente contaminen o deterioren el aire, el agua, los fondos marinos, el suelo o el subsuelo, o incidan desfavorablemente sobre la fauna o flora”.

2.2.12.3 Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio

Esta ley define la ordenación de territorio como: la regulación y promoción de aquellos lugares habitados por el ser humano y de las actividades económicas y sociales de la población, además del desarrollo físico espacial, todo esto con la finalidad de alcanzar una armonía entre las comunidades, el uso racional de los recursos naturales y el cuidado de la naturaleza para desarrollar integralmente todos los elementos que conforman un territorio específico.

2.2.12.4 Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos

Publicada en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.554 de fecha 13 de noviembre de 2001. Tiene por objeto regular la generación, uso, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de las sustancias, materiales y desechos peligrosos, así como cualquier otra operación que los involucre, con el fin de proteger la salud y el ambiente.

2.2.12.6 Ley sobre el régimen, administración y aprovechamiento de minerales no metálicos del Distrito Capital

Fue publicada en Gaceta Oficial N° 39.868 del 22 de febrero de 2012, tiene por regular el aprovechamiento racional y sustentable de los minerales no metálicos, no reservados al Poder Nacional, ubicados en la jurisdicción del Distrito Capital. Es importante destacar su artículo 27, el cual reza:

Toda persona, natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera, que ejerza las actividades mineras y conexas señaladas en esta Ley, una vez finalizada cada etapa o fase de explotación, en la zona, área o terraza en que se divida la mina, tendrá la obligación de restaurar las condiciones forestales o de suelo del territorio explorado y explotado, a fin de proteger, conservar y defender la existencia de un ambiente sustentable con vegetación autóctona de la zona.

2.2.12.7 Decreto con Rango y Fuerza de Ley de Minas

Fue publicada en Gaceta oficial N°5382 Extraordinario, de fecha 28 de septiembre de 1999, tiene por objeto regular lo referente a las minas y a los minerales, incluyendo exploración, explotación, beneficio, almacenamiento, transporte y comercialización. En su Artículo 15, establece que las actividades mineras deben efectuarse con acatamiento a la legislación ambiental y a las demás normativas que rigen la materia. El artículo 16 reza lo siguiente: “Queda prohibido realizar actividades mineras en poblaciones y cementerios”.

2.2.12.8 Decreto 1.257. Normas sobre evaluación ambiental en actividades susceptibles de degradar el ambiente

Publicado en Gaceta Oficial N°35.946, el 25 de abril de 1996, “Tiene por objeto establecer los procedimientos conforme a los cuales se realizará la evaluación ambiental de las actividades susceptibles de degradar el ambiente, como parte del proceso de toma decisiones en la formulación de políticas, planes, programas y proyectos de desarrollo, a los fines de la incorporación de la variable ambiental en todas sus etapas”.

2.2.12.9 Decreto 2.212. Normas sobre movimientos de tierra y conservación ambiental

Publicado en Gaceta Oficial N° 35.206, de 7 de mayo de 1993; su objetivo es establecer las condiciones bajo las cuales se realizarán las actividades de deforestación, movimiento de tierra, estabilización de taludes, arborización, de áreas verdes y todo lo relacionado con la protección de los suelos. Establece la necesidad de realizar estudios geotécnicos a taludes con pendientes pronunciadas y alturas superiores a 10 m.

CAPÍTULO III: GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 Aspectos generales del entorno físico-natural

3.1.2 Ubicación geográfica y acceso

El área de estudio se encuentra bajo la jurisdicción de la empresa Canteras del Distrito Capital S. A. y está ubicada en el suroeste de la ciudad de Caracas, específicamente en la Hacienda Mamera, Parroquia Antímano, del Municipio Libertador (N 1.156.000 y E 717.000). (Ver figura 3.1).



Figura 3.1 Ubicación del área de estudio.

Para acceder a la cantera, tal y como se muestra en la figura 3.2, se debe tomar el Distribuidor Mamera en la Autopista Francisco Fajardo, el cual conduce a la carretera Mamera - El Junquito y luego recorrer esta vía quilómetro y medio aproximadamente para toparse con la entrada.

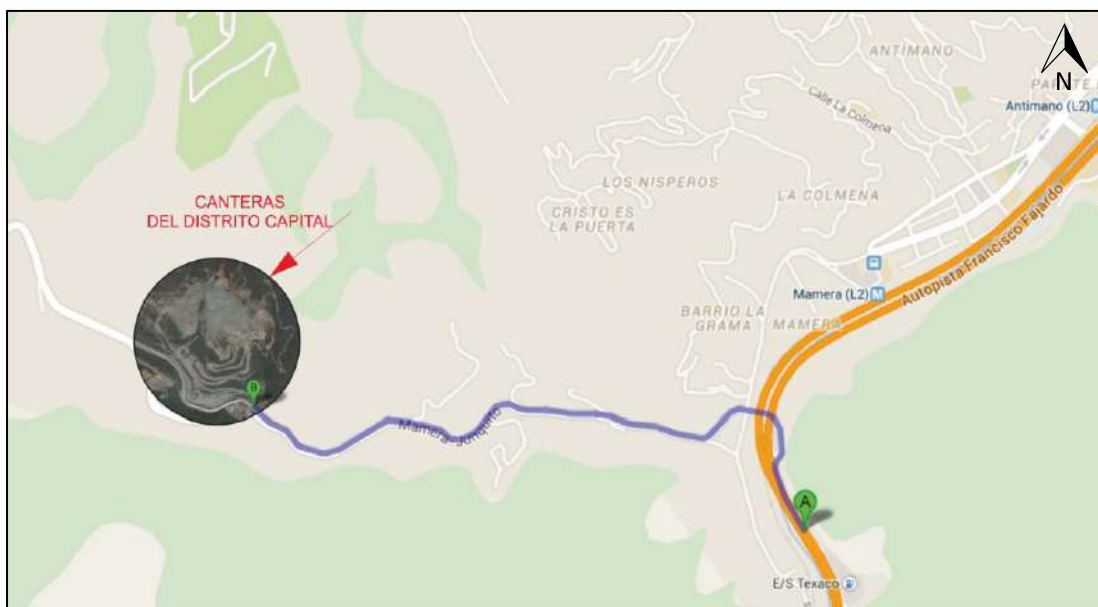


Figura 3.2 Acceso al área de estudio.

Fuente: Plan de explotación 2015, Canteras del Distrito Capital.

3.1.2 Clima

Según información propia de la cantera, el clima es tropical de altura y se caracteriza por su patrón biestacional con dos períodos bien marcados: una temporada de lluvias y una de sequía de seis meses cada una. El promedio anual de precipitaciones varían entre los 900 y 1.300 mm, según las mediciones hechas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. La temperatura media anual es de 21 °C, siendo la media del mes más frío (enero) de 20 °C y la media del mes más cálido (mayo) de 24 °C, lo que da una amplitud térmica anual escasa de sólo 4 °C. Las temperaturas nocturnas en cualquier época del año no suelen superar los 20 °C. La humedad relativa posee una media anual de 74.5%.

3.1.3 Hidrología

El plan de explotación de la cantera, para el año 2015-2016, afirma que el drenaje principal del área de estudio está constituido por la quebrada Mamera, que tiene una micro cuenca de 500 ha., con régimen hídrico intermitente. Esta micro cuenca ha sido intervenida, en diferentes tramos, debido a la construcción de obras civiles e industriales, entre ellas tenemos el Cementerio del Oeste y el área por donde se construyó la nueva vialidad que da acceso a El Junquito. Las aguas de esta quebrada se descargan por el margen izquierdo en la canalización del Río Guaire, en la zona correspondiente a Mamera. En este sector, la cuenca de recepción del Río Guaire es de aproximadamente 27.500 ha.

3.1.4 Relieve

El área de estudio se encuentra ubicada en la transición de la Serranía del Litoral y la Serranía del Interior del tramo central de la Cordillera de la Costa. Morfológicamente se distinguen, a grandes rasgos, elevaciones topográficas que coinciden con altos estructurales y cuyas elevaciones oscilan alrededor de los 1.500 msnm.

Específicamente, el área corresponde a un valle encajado estrecho, de laderas pronunciadas, originado por el fallamiento propio de la cordillera durante el último evento tectónico. La expresión predominante de la zona es la montañosa, casi abrupta en toda la extensión, moderadamente escarpada, de carácter masivo, determinada por la litología predominante de rocas metamórficas, se consiguen pendientes fuertes, que disminuyen en algunos sitios de contacto de las vertientes con las acumulaciones de los valles.

3.1.5 Vegetación

Se distinguieron cuatro unidades de vegetación: Bosque semideciduo; Matorrales mezclados con vegetación de transición; Bosque de galería y Sabanas secundaria. Esta última es el producto del proceso de eliminación de la cubierta vegetal original, mediante la tala y quema para el establecimiento de viviendas e industrias sobre las laderas montañosas, esto según la información suministrada por “Canteras del Distrito Capital”.

El bosque semideciduo está caracterizado por la presencia de especies arbustivas que alcanzan aproximadamente entre 2 y 4 metros de altura y especies arbóreas diseminadas que sobresalen del dosel arbustivo y que alcanzan una altura entre 10 y 30 metros. Los matorrales se ubican en áreas con fuertes pendientes y se caracterizan por la presencia de vegetación tipo arbustiva y herbácea, dominada por el helecho, el capín, la tara amarilla y otros arbustos y hierbas.

3.1.6 Geología regional

La litología expuesta en la zona de estudio pertenece a la Fase Antímamo, descrita por Dengo (1951) como un mármol masivo de grano medio, color gris claro, con cristales de pirita, alternando con capas de esquistos cuarzo micáceos, y asociadas con cuerpos concordantes de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de "boudinage".

Se han descrito afloramientos aislados desde la zona de Antímamo, hacia el oeste en San Pedro y hacia el este hasta La Florida, continúa la zona de afloramientos en una franja en el valle de la quebrada Tacagua, y de ahí hacia el oeste como una franja entre Mamo,

Carayaca y Tarma, Distrito Federal. Los últimos afloramientos se han reconocido en la zona de El Palito, estado Carabobo. (Ver figura 3.3)

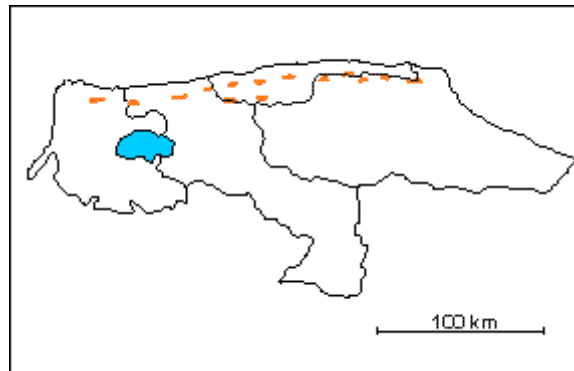


Figura 3.3 Extensión geográfica de la Fase Antímamo.
Fuente: Léxico Estratigráfico de Venezuela.

Dengo (1950) describe con detalle las anfibolitas glaucofánicas de esta Formación, incluyendo análisis químicos, indica que los mármoles son rocas estructuralmente competentes en relación a los esquistos que las rodean, pero incompetentes en relación con las rocas anfibólicas, mostrando pliegues de flujo alrededor de ellas y resultando así la estructura de "boudinage".

Schurmann (1950) igualmente estudia estas rocas glaucofánicas, presentando un mapa detallado de los diversos tipos litológicos en el sector de Antímamo y Mamera. En la región del Camino de los Españoles, Parque Nacional El Ávila, Ostos (1981) describe su Unidad de esquisto cuarzo-muscovítico y mármol cuarcífero equivalente a esta Fase, encontrando los siguientes tipos litológicos: esquisto cuarzo-muscovítico, mármol y esquistos calcáreos, esquisto cuarzo-feldespático y feldespático, cuarcita muscovítica-feldespática, epidocita y glaucofanita granatífera.

En la cartografía geológica de la zona de Puerto Cruz-Mamo, Talukdar y Loureiro (1982) reconocen su Unidad de anfibolitas y mármoles, que posteriormente Urbani y Ostos (1989) la denominan como Fase Antímamo, allí ocurre la asociación de anfibolita, mármol, esquisto calcáreo-muscovítico $\pm$ grafitoso, esquisto cuarzo-muscovítico $\pm$ granatífero, esquisto cuarzo-muscovítico-graucofánico-granatífero.

3.1.8 Geología local

La secuencia litológica consiste de tope a base (noroeste a sureste), de una intercalación de esquistos cuarzo-micáceos muy meteorizados de colores rojizos, un mármol masivo de grano medio, color gris claro con cristales de pirita, una intercalación de esquistos cuarcítico-muscovítico-grafitosos calcáreos, lentes delgados de mármol gris oscuro, Anfibolitas (a veces intercaladas paralela y concordantemente a la foliación de la secuencia y a veces claramente intrusionando a la misma), cuarcitas delgadas gris claro y una gruesa capa de esquistos muy cuarzosos, calcáreos, micáceos con pirita y muy compactos. Toda la secuencia expuesta en la cantera, mide litoestratigráficamente, de tope a base, unos 280 metros de espesor, es decir, desde la cota 1.300 a 1.020.

El mármol de grano medio y de color gris oscuro, está formado en general de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo detrítico, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (0.2%). Esta roca aflora de manera abundante a lo largo de toda la mina, sobretodo en el área denominada Frente 1. (Ver figura 3.4)



Figura 3.4 Afloramiento con predominancia de mármol en el frente 1.

Las rocas anfibólicas se observan como pequeños cuerpos hacia el noroeste de la cantera con estructuras de "boudinage" y con cristales de pirita. Hacia el sureste, existe un gran cuerpo de anfibolita con porfiroblastos de granate que se observan especialmente en las zona de contacto con los esquistos cuarzo-calcáreos que la envuelven.

Esta roca se distingue claramente por su color verdoso y porque se presenta en forma de una roca masiva, localmente sin foliación, muy compacta y está asociada, en sus zonas de contacto, con vetas y vetillas irregulares de cuarzo, calcita y/o cuarzo y calcita con pirita, que evidencian zonas de alteración de contacto de hasta medio metro de espesor.

Las diaclasas son abundantes debido a los intensos efectos tectónicos que ha sufrido la región y debido también a las características físicas de las rocas, que son muy compactas por su composición mineralógica eminentemente cuarzosa y/o calcárea, propensas a quebrarse o romperse en fragmentos grandes o bloques en vez de plegarse, como sería el caso de los esquistos micáceos y/o grafitosos de las formaciones Las Brisas y Las Mercedes que envuelven transicionalmente a estas rocas de la fase Antímamo.

Las diaclasas conforman sistemas paralelos en diferentes direcciones e inclinaciones. Las más recientes presentan aberturas milimétricas, formando grietas y las más antiguas están generalmente rellenas de calcita cristalizada. (Ver figura 3.5).



Figura 3.5 Sistemas paralelos de diaclasas.

3.2 Aspectos generales de la empresa Canteras del Distrito Capital S. A.

Con el fin de suministrar materia prima para las distintas obras civiles impulsadas por el Estado Venezolano, la Gobernación del Distrito Capital crea mediante el Decreto N° 171 de su Gaceta Oficial N° 138, de fecha 15 de febrero de 2013, la Empresa Canteras del Distrito Capital S. A., otorgándole las instalaciones, equipamiento y derechos mineros de la antigua empresa Cantera Nacional C.A., ubicada en la Hacienda Mamera de la Parroquia Antímamo.

Esta empresa realiza actividades de exploración y explotación de roca calcárea, cuyo producto se emplea como agregado para la construcción, utilizando los métodos tradicionales de explotación minera a cielo abierto (perforación, voladura, carga, transporte y reducción de tamaño de rocas). Para el año 2015 la producción promedio mensual fue de 20.000 m³ de material.

La cantera posee dos frentes de explotación, tal y como puede verse en la figura 3.6, de los cuales se encuentra activo el que está ubicado al este y se le conoce como Mina 2. En este sector se lleva a cabo un proceso de reestructuración física, ya que anteriormente no se consideraron algunos criterios básicos del diseño de minas y esto generó la formación de taludes con dimensiones riesgosas. Esta reestructuración consiste en la conformación de taludes con máximo 12 m de altura y con un ancho de banco operativo de 6 m.



Figura 3.6 Ubicación de los frentes de explotación.

Mina 1, el otro frente de explotación, presenta taludes con alturas que superan los 40 m y ángulos de inclinación mayores a los 70° en algunas zonas. La cota más baja de este sector ya ha alcanzado el nivel freático, lo que ha generado la formación de una laguna artificial que surte de agua, mediante un sistema de bombeado, a distintas labores cotidianas de la cantera.

Una vez que el material es arrancado de los bancos, mediante perforación y voladura, es transportado a las plantas de reducción de tamaño, en donde se fragmenta y clasifica hasta alcanzar los tamaños comerciales que son piedra #1, piedra 3/4, polvillo y ripio o rechazo de la planta. Finalmente, este producto es despachado cargando los camiones externos por las tolvas destinadas para tal fin. (Ver figura 3.7).



Figura 3.7 Tolvas de despacho de producto final.

La zona en donde está ubicada la cantera forma parte del sector industrial de Mamera, en este lugar existen fábricas de concreto y premezclados, plantas de asfalto, chatarrerías, estacionamientos y vertederos urbanos. A menos de medio kilómetro se encuentra la cantera O'Rey, la cual produce agregados para construcción explotando otro afloramiento de la misma formación geológica.

CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de investigación

La investigación presenta una estructura de campo descriptiva, debido a que se centra en caracterizar condiciones ambientales, geotécnicas y tecnológicas actuales de la explotación mineral en “Canteras del Distrito Capital S.A.”, así como aquellas que puedan contribuir a desarrollar una planificación a largo plazo considerando criterios del cierre de mina y la estabilidad física del entorno.

Al respecto, la UPEL en su manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales (2006), define la investigación de campo como el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios.

Arias (2006) define la investigación descriptiva como la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento.

4.2 Diseño de la investigación

La investigación está regida por un diseño experimental, definida por Palella y Martins (2010) como: la manipulación de una variable, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular.

Parámetros como la resistencia a la compresión simple y resistencia a la tracción indirecta, así como el porcentaje de materia orgánica en el suelo, serán obtenidos mediante la ejecución de distintos ensayos de laboratorio. La información arrojada contribuirá con la definición del comportamiento de la roca aflorante y permitirá realizar inferencias acerca de la conducta del yacimiento en su totalidad.

4.3 Población y muestra

La población está definida por la zona de estudio, abarcando los terrenos de la cantera y sus adyacencias. La muestra se constituye de dos grupos fundamentales:

- Para estimar los parámetros geotécnicos se recolectaron 10 bloques de roca de los taludes presentes en ambos frentes de explotación, de los cuales se obtuvieron 11 especímenes destinados a la elaboración de los distintos ensayos de laboratorio (7 para compresión uniaxial, 4 para resistencia a la tracción indirecta).
- El otro grupo está conformado por los elementos considerados en la evaluación ambiental. Para estimar el contenido de materia orgánica en el suelo se recolectaron 16 muestras, 10 de ellas obtenidas en los lugares más afectados por las labores mineras (vías de acceso y frentes de explotación), mientras que las 6 restantes se recolectaron en lugares con mínima afectación antrópica y en donde la vegetación estaba presente. Por otra parte, el ruido producido por las operaciones de la cantera se evaluó en 5 zonas.

4.4 Recolección de datos y procesamiento de la información

4.4.1 Recopilación de información previa

Se realizó una campaña de recolección de información bibliográfica, conformada esencialmente por las características generales de la cantera y de la zona de estudio, tales como la zonificación sísmica, las características climatológicas, la geología regional y otros aspectos relacionados con el entorno social y comercial. Así mismo, se recurrió a material bibliográfico referente al cierre de minas y su planificación, como recuperar y remediar áreas degradadas y taludes de mina, la normativa ambiental vigente relacionada con actividades de movimientos de tierra y requerimientos de Estudios de Impacto Ambiental.

4.4.2 Influencia sobre el ambiente

Con respecto a los impactos asociados a la explotación mineral, se tomaron en cuenta aquellos generados sobre los siguientes componentes:

- **Componente físico natural:** Incluyen los efectos sobre componentes abióticos del ambiente; en este caso, se estudian los impactos sobre el agua, el aire, el suelo y el relieve.
- **Componente biológico:** Incluyen los componentes bióticos del ambiente; en este caso, se refieren a la flora y fauna.

Estos aspectos fueron estudiados principalmente mediante una jornada de observación y descripción en campo, así como diversos ensayos de laboratorio, empleando para ello las siguientes herramientas y metodologías:

- **Evaluación general del impacto ambiental:** La clasificación cuantitativa de los impactos estudiados se realizó siguiendo los lineamientos planteados por Conesa (1997), metodología adaptada a la evaluación de impactos ambientales en zonas afectadas por movimientos de tierra y explotaciones mineras (Ver anexo 1). También se consideró los criterios planteados por Somenson et al. (2014), para estimar cualitativamente el efecto que generan aquellos impactos a los cuales no fue posible realizar alguna prueba o ensayo, como por ejemplo el impacto visual y la contaminación atmosférica.
- **Contenido de materia Orgánica en el Suelo:** Se empleó la metodología planteada por Jaramillo (2002), conocida como “Oxidación del suelo con Peróxido de Hidrógeno”. (Ver anexo 2)
- **Nivel de ruido:** Se siguieron algunos lineamientos planteados por la norma COVENIN 1565:1995 (Ruido Ocupacional). En cada punto de medición se registró el nivel de ruido durante un periodo mínimo de cinco horas, empleando la aplicación para teléfonos móviles “Sonómetro: Sound Meter v 1.6.7” de Smart Tools co.

4.4.3 Determinación de parámetros de estabilidad de taludes

Se realizó la evaluación de taludes de roca siguiendo la metodología propuesta por el ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas), que contempla el análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el RMR y el SMR, tomando en consideración la orientación de las discontinuidades presentes, así como la caracterización geológica, que permita establecer las características del macizo rocoso, relacionado con el RMR (*Rock Mass Rating*), la Cohesión (MPa) y el ángulo de rozamiento interno (Φ). Teniendo en cuenta los criterios técnicos de seguridad de mina y el posible cambio de uso del territorio, se consideraron mecánicamente estables aquellos taludes que poseían un factor de seguridad superior a 1,5. Se realizaron los ensayos de compresión simple y tracción indirecta empleando la metodología planteada en las normas ASTM D2938-95 y D2936 – 08 respectivamente.

Se empleó el programa Grapher (v11) como herramienta de graficación de múltiples curvas, RocData (v4.0) para analizar los resultados de los ensayos geomecánicos, Dips (v6.0) para la proyección estereográfica de los planos geológicos observados en campo, así como la estabilidad cinemática de los taludes. En cuanto a la estabilidad mecánica, se empleó el

programa RocPlane (v2.029) para analizar fallas planas y el programa Swedge (v4.078) para fallas en cuña.

3.4.4 Adecuación Topográfica

Debido a que la cantera no posee una planificación a largo plazo de la explotación mineral, no se tiene una base sólida sobre la cual apreciar los parámetros de la evolución topográfica. Por esta razón, se presenta únicamente una posible estructura de *Pit Final*, utilizando herramientas de dibujo asistido por computadora, específicamente las del tipo CAD de la empresa Autodesk, en su versión estudiantil.

Dicha estimación de la topografía modificada está ligada al modelo geológico de la cantera, a los criterios de estabilidad física obtenidos, a los principios legales competentes y a los parámetros de restauración ambiental recomendados. Además se tomó en consideración el posible cambio de uso del territorio, que está influenciado por las necesidades sociales y el Plan de Ordenamiento del Territorial correspondiente a la zona de estudio.

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Identificación de impactos ambientales

Para la estimación y análisis de los impactos ambientales generados por la cantera, se consideraron las distintas etapas presentes durante el desarrollo de las labores de explotación mineral, las cuales son señaladas a continuación:

1. Limpieza del terreno y eliminación de cubierta vegetal.
2. Excavación, aplanamiento y compactación de suelos.
3. Arranque de material y conformación de taludes.
4. Transporte, acopio y reducción de tamaño de los materiales extraídos.

De acuerdo con esto, se estudiaron los 12 impactos ambientales más significativos y se clasificaron mediante la metodología sugerida por Conesa (1997), en algunos casos también se consideran criterios planteados por Somenson et al. (2014). En la tabla 5.1 se aprecia la lista de impactos estudiados, junto con la denominación o código asignado a cada uno por parte del investigador.

Tabla 5.1 Identificación de Impactos Ambientales Estudiados

Código	Impactos Ambientales Estudiados
IA1	Modificación del estado físico de suelos y rocas debido a operaciones mineras específicas.
IA2	Erosión del suelo por cambios en la topografía, ruptura de la capa vegetal y acción de las aguas de escorrentía.
IA3	Transformación del entorno físico original y atracción escénica.
IA4	Modificación de la morfología del cauce de las corrientes, contaminación, desbordamiento y migración de quebradas.
IA5	Descenso en la capacidad de infiltración debido a la consolidación del suelo.
IA6	Dimensionamiento inadecuado de los taludes.
IA7	Alteración de la calidad del aire por emisión de material particulado y gases de combustión.
IA8	Incremento en los niveles de ruido.
IA9	Insuficiente reforestación del área, lo que implica limitación en las riquezas y diversidad de la flora y fauna.
IA10	Desplazamiento de la fauna autóctona debido a la destrucción del hábitat natural.
IA11	Proliferación de agentes patógenos en aguas estáticas, como el mosquito Anopheles del paludismo o malaria y el mosquito Aedes albopictus y aegypti trasmisor del dengue común y/o dengue hemorrágico respectivamente.
IA12	Acumulación de desechos domésticos (pasivos mineros).

Se han considerado además otros factores del entorno, donde la actividad minera de la cantera posee cierta influencia, sin embargo, no se estima necesario catalogarlos por la metodología de Conesa (1997) ya que son casos muy puntuales. Estos son el riesgo de ahogo en la laguna, riesgo vial por proyección de rocas a la carretera Mamera-El Junquito y el riesgo a comprometer los predios del Cementerio Principal del Oeste, ubicado aproximadamente a unos 200 metros al norte de la cantera.

A continuación se presenta la clasificación cuantitativa, según el impacto ambiental generado, utilizando la metodología planteada por Conesa (1997).

Tabla 5.2 Calificación cuantitativa según el nivel de impacto ambiental generado

Código del Impacto	CI	I	EX	SI	PE	EF	MO	AC	MC	RV	PR	IM	CLI
IA1	-1	4	4	2	4	D	4	4	2	2	2	40	Moderado
IA2	-1	8	4	4	1	D	4	4	2	4	1	52	Severo
IA3	-1	4	8	2	4	D	4	4	4	4	1	51	Severo
IA4	-1	4	8	2	2	I	1	4	4	2	1	44	Moderado
IA5	-1	4	4	2	2	I	4	1	2	2	4	37	Moderado
IA6	-1	12	4	4	4	D	4	4	2	4	1	67	Severo
IA7	-1	4	8	2	1	D	4	4	1	2	4	46	Moderado
IA8	-1	4	2	1	1	D	4	1	1	1	2	27	Moderado
IA9	-1	4	4	2	1	D	4	4	2	2	4	39	Moderado
IA10	-1	4	4	1	1	D	4	4	1	1	1	33	Moderado
IA11	-1	4	4	1	1	D	4	4	1	1	1	33	Moderado
IA12	1	2	2	2	2	D	4	4	2	4	1	29	Moderado

Denominación: **CI:** Carácter de impacto; **I:** Intensidad de impacto; **EX:** Extensión de impacto; **SI:** Sinergia; **PE:** Persistencia; **EF:** Efecto; **MO:** Momento de Impacto; **AC:** Acumulación; **MC:** Recuperabilidad; **RV:** Reversibilidad; **PR:** Periodicidad; **IM:** Importancia o significancia del Efecto; **CLI:** Clasificación del impacto.

5.2 Descripción de los impactos

IA1 Modificación del estado físico de suelos y rocas debido a operaciones mineras específicas:

Está asociado a las labores de movimiento de tierras, perforación y voladura de rocas, también a la excavación, aplanamiento y compactación de suelos, así como al transporte y acopio de materiales extraídos. Por tal razón, está presente en gran parte del territorio de la cantera y su efecto es constante desde que inició la explotación mineral y seguirá presente hasta que culmine.

Incluye la afectación de la calidad de la roca aflorante, producto de las microfisuras generadas por las voladuras, además de la pérdida y deterioro de zonas fértiles. Somenson et al. (2014), consideran un riesgo bajo de pérdida de suelo con valor productivo a aquellas

canteras ubicadas en regiones sin actividad agropecuaria, como es el caso de estudio, ya que se encuentra en una zona industrial.

El suelo sometido a labores mineras, tales como la forestación, tránsito de maquinaria pesada y rediseño topográfico en general, presenta reducciones importantes en el contenido de materia orgánica. Esto según lo reflejado por el ensayo realizado a 16 muestras de suelo recolectadas a lo largo y ancho de la cantera, en zonas afectadas por los agentes antes descritos (ZA) y en zonas sin alteración aparente del suelo (ZI). A estas muestras se les hizo un estudio de oxidación por peróxido de hidrógeno, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5.3 Contenido de carbono y materia orgánica en los suelos de la cantera.

Grupo	Muestra	Contenido de Carbono (%)	Contenido de Materia Orgánica (%)
ZA	ZAms01	0.49	0.88
	ZAms02	0.66	1.19
	ZAms03	0.63	1.14
	ZAms04	0.31	0.55
	ZAms05	0.54	0.97
	ZAms06	0.28	0.50
	ZAms07	0.44	0.80
	ZAms08	0.64	1.15
	ZAms09	1.03	1.85
	ZAms10	1.02	1.84
Media de ZA		0.60	1.09
ZI	ZIms01	1.18	2.12
	ZIms02	1.24	2.24
	ZIms03	1.23	2.22
	ZIms04	1.51	2.71
	ZIms05	1.58	2.84
	ZIms06	1.63	2.94
Media de ZI		1.40	2.51

Según Rioja (2002), se clasifica el grupo ZA como un suelo con nivel de materia orgánica entre bajo y muy bajo, mientras que el grupo ZI se clasifica como un suelo cuyo nivel de materia orgánica es de normal a alto. Por lo tanto, según lo mencionado en el apartado 2.2.5.1, las zonas afectadas por la actividad minera presentan un aumento considerable en su grado de erosionabilidad.

Por lo antes expuesto, se considera un impacto negativo de intensidad alta, extenso, sinérgico, permanente, de efecto directo a corto plazo, acumulativo, recuperable a mediano plazo, reversibilidad a mediano plazo, continuo y se clasifica como Moderado.

IA2 Erosión del suelo por cambios en la topografía, ruptura de la capa vegetal, acción de las aguas de escorrentía, etc.

Está asociado principalmente a las labores de extracción mineral antes descritas, así como al transporte y acopio de materiales debido al tránsito vehículos pesados (Ver imagen 5.1). Por tal razón, está presente en gran parte del territorio de la cantera y su efecto es constante desde que inició la explotación mineral y seguirá presente incluso después de que culmine, a menos que sea tratado de manera adecuada y eficiente.

En la Figura 5.1 se distinguen distintos agentes erosionantes, a saber: **A:** Corrientes de agua que causan la formación de cárcavas, **B:** Movimiento de tierras y acopio de material extraído, **C:** Tránsito de maquinaria y vehículos pesados.



Figura 5.1 Algunos agentes de erosión presentes en la zona de estudio.

La falta de un sistema de drenaje adecuado influye significativamente sobre este impacto. La cantera está ubicada en un área montañosa y además posee pendientes altas y elevadas en algunas zonas, lo cual, aunado a las fuertes precipitaciones de la época lluviosa, ocasiona que las aguas de escorrentía adquieran una marcada energía cinética que les permite arrastrar partículas de granulometría alta (>20 mm).

Se considera un impacto negativo de intensidad muy alta, extenso, muy sinérgico, fugaz, de efecto directo a corto plazo, acumulativo, recuperable a mediano plazo, irreversible, irregular y se le considera como Severo.

IA3 Transformación del entorno físico original y atracción escénica

Está asociado directamente con las labores de explotación mineral, especialmente las ligadas a la extracción de roca. Se ve intensificada por el déficit de políticas de conservación ambiental y de diseño adecuado de minas durante los primeros años de vida de la cantera.

Somenson et al. (2014), plantean que cualquier explotación de cantera con una extensión superior a 1 Ha, ubicada a menos de 500 m de una ruta de tránsito urbano, genera un impacto visual de prioridad media (ver Figura 5.2).



Figura 5.2 Cercanía de las instalaciones de la cantera a la carretera Mamera–El Junquito.

Siguiendo la metodología de Conesa (1997), se le considera un impacto negativo de intensidad alta, extenso, sinérgico, persistente, de efecto directo a corto plazo, acumulativo, recuperable a largo plazo, irreversible, irregular y se le considera como Severo.

IA4 Modificación de la morfología del cauce de las corrientes, desbordamiento y migración de quebradas

Asociado directamente con las labores de extracción mineral, desarrollo de vías de acceso, patios de acopio y demás movimientos de tierras. La modificación topográfica que dichas labores generan, cambia los patrones originales de escorrentía, afectando progresivamente las condiciones propias de los cauces que estas adquieren, ya que no están diseñados adecuadamente para soportar el caudal de agua y sedimentos que adquieren, especialmente en la época lluviosa. Como consecuencia de esto, es común observar sedimentos transportados y acumulados de manera irregular en las vías internas de la cantera, tal y como se muestra en la figura 5.3, los cuales, en ocasiones llegan a ser transportados a la carretera Mamera – El Junquito.



Figura 5.3 Vías internas afectadas por el cauce de aguas.

Se le considera un impacto negativo de intensidad alta, muy extenso, sinérgico, temporal, de efecto indirecto a corto plazo, acumulativo, recuperable a mediano plazo, reversible a mediano plazo, irregular y se le considera como Moderado.

IA5 Descenso en la capacidad de infiltración debido a la consolidación del suelo.

Asociado principalmente al efecto aplastamiento causado por el acopio de materiales y tránsito de vehículos y maquinaria pesada (ver Figura 5.4). Este impacto provoca una disminución de la porosidad, la capacidad de infiltración y la capacidad de retención de humedad en el suelo (Somonson et al., 2014).

Es un impacto negativo de intensidad alta, extenso, sinérgico, temporal, de efecto indirecto a corto plazo, acumulativo, recuperable a mediano plazo, reversible a mediano plazo, continuo y se le considera como Moderado.



Figura 5.4 Suelo siendo compactado, debido al tránsito de vehículos pesados y al acopio de material.

IA6 Dimensionamiento inadecuado de los taludes.

El más significativo de los impactos estudiados, asociado principalmente a las labores de extracción de materiales y el que presenta la mayor sinergia con casi todos los otros impactos. Debido a su importancia y complejidad, sus características se explican a fondo en el apartado 5.4 del presente capítulo.

Obtuvo la mayor calificación (67 puntos), se le considera un impacto negativo de intensidad total, extenso, muy sinérgico, permanente, de efecto directo a corto plazo, acumulativo, recuperable a mediano plazo, irreversible, irregular y se le considera como Severo.

IA7 Alteración de la calidad del aire por emisión de material particulado y gases de combustión.

Básicamente está asociado a las 5 labores de explotación mineral mencionadas previamente, siendo el transporte, acopio y reducción de tamaño de los materiales extraídos, junto con la perforación y voladura de rocas, los agentes más contribuyentes, como puede verse en la figura 5.5.

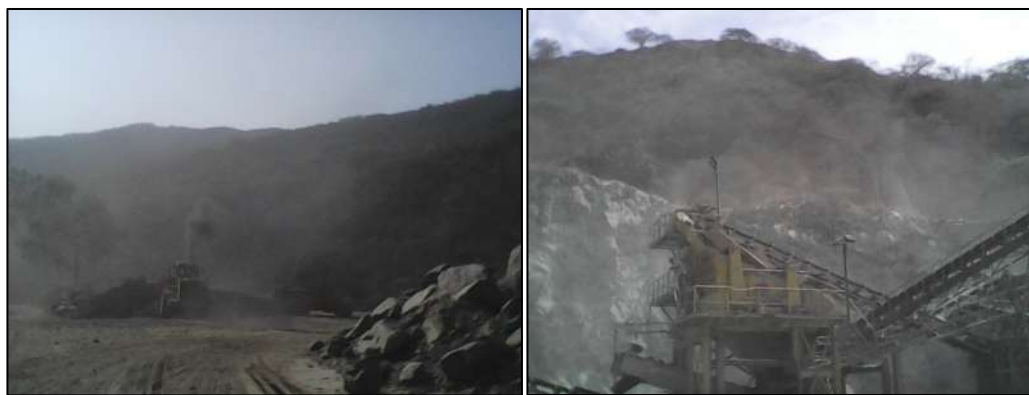


Figura 5.5 Emisión de partículas de polvo y gases a la atmosfera.

Estas labores mineras requieren un considerable movimiento de tierra, que ocasiona que el material particulado del suelo sea suspendido y dispersado por acción de la maquinaria y el viento, provocando una propagación de partículas de calcio y silicio a la atmósfera. Así mismo, el funcionamiento de la gran cantidad de maquinaria y equipos que se necesitan en las labores de explotación, tales como cargadores frontales, excavadoras, compresores, camiones, etc. provocan la emisión de humos negros, formados por partículas de hollín, olores desagradables, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y, en menor proporción, monóxido de carbono.

Se le considera un impacto negativo de intensidad alta, muy extenso, sinérgico, fugaz, de efecto directo a corto plazo, acumulativo, recuperable a mediano plazo, reversible a mediano plazo, continuo y se clasifica como Moderado.

IA8 Incremento en los niveles de ruido

Al igual que el IA7, está asociado a las 5 labores de explotación mineral mencionadas previamente, siendo los factores más contribuyentes ruido generado por voladuras y la operación de maquinaria móvil y fija.

La cantera se encuentra dentro de un área comercial e industrial, clasificada según el decreto 2.217 como una zona tipo IV, por lo cual el ruido continuo equivalente no debe superar los 70 dB. En la tabla 5.3 se observan los resultados de la evaluación del nivel de ruido en algunos puntos periféricos de la cantera, especialmente aquellos ubicados en la zona aledaña a la carretera Mamera - El Junquito (ver figura 5.6).

Esta evaluación se realizó tomando en consideración algunos elementos de la norma COVENIN 1565-95.

Tabla 5.4 Evaluación del nivel de ruido en la periferia de la cantera.

Punto	Coordenada	Nivel de Ruido (dB)
1	10°27'29.99"N, 67° 0'50.56"W	63
2	10°27'26.55"N, 67° 0'46.02"W	65
3	10°27'18.43"N, 67° 0'42.15"W	80
4	10°27'17.87"N, 67° 0'29.54"W	61
5	10°27'49.48"N, 67° 0'38.85"W	38



Figura 5.6 Ubicación de los puntos de medición de nivel de ruido.

Como puede verse en la tabla 5.4, en el punto 3 es donde se registró el valor más alto de nivel de ruido, esto es debido principalmente a la operación de la planta 2. El punto 2 es el más cercano a la planta 3, sin embargo esta nunca estuvo en operación durante los días en los que se llevó a cabo la medición. Siguiendo la metodología planteada por Conesa (1997), se clasifica como un impacto negativo de intensidad alta, extensión parcial, sinérgico, fugaz, de efecto directo a corto plazo, simple, recuperable y reversible a corto plazo, periódico y se clasifica como Moderado.

IA9 Insuficiente reforestación del área, lo que implica limitación en las riqueza y diversidad de la flora y fauna

Está asociado principalmente a las labores de desarrollo minero, tales como la creación de vías de acceso y remoción de la capa vegetal. Actualmente se llevan a cabo programas de reforestación y aprovechamiento agrícola en algunas áreas de la cantera, como puede verse en la figura 5.7, sin embargo esta medida ocupa un espacio poco significativo de la extensión geográfica total.



Figura 5.7 Aprovechamiento agrícola en áreas de la cantera.

Se considera un impacto negativo de intensidad alta, extenso, sinérgico, temporal, de efecto directo a corto plazo, acumulativo, recuperable y reversible a mediano plazo, persistente y se clasifica como Moderado.

IA10 Desplazamiento de la fauna autóctona debido a la destrucción del hábitat natural

El territorio en donde se encuentra la cantera goza de una significativa diversidad faunística, propia de la región montañosa a la que pertenece. Entre la variedad de especies que componen la fauna se encuentran los turpiales, gavilanes, murciélagos, sapos, loros, guacharacas y perezosas, como la que puede verse en la figura 5.8. Dicha fauna ha sido relegada a las zonas periféricas de la cantera, en donde la vegetación es prominente y les sirve como refugio.



Figura 5.8 Perezosa en las cercanías de la cantera.

Este impacto está en profunda sinergia con el IA8, ya que el incremento en los niveles de ruido ahuyenta a los animales de sus hábitats tradicionales. Las labores que incurren en la modificación topográfica destruyen madrigueras, modifican los cauces naturales de las aguas, generan forestación, etc. lo que a su vez representa un problema para la fauna, debido a que se interrumpe o entorpece la estructura básica de su desarrollo. Por tal razón, está presente en gran parte del territorio de la cantera y su efecto es constante desde que inició la explotación mineral y seguirá presente hasta que culmine.

Se considera un impacto negativo de intensidad alta, extenso, simple, temporal, de efecto directo a corto plazo, acumulativo, recuperable y reversible a mediano plazo, continuo y se clasifica como Moderado.

A11 Proliferación de agentes patógenos en aguas estáticas

El frente de explotación Mina 1 cuenta con una laguna artificial en su nivel de cota más bajo ya que fue alcanzado el nivel freático en esa zona, por lo cual se favorece la reproducción de agentes patógenos, como el mosquito *Anopheles* de la malaria y el mosquito *Aedes* del dengue, al servir como medio para la incubación y desarrollo de nuevas crías. Otras zonas de la cantera suelen poseer aguas estancadas por periodos de tiempo variables, especialmente durante la época lluviosa, esto debido a la situación respectiva al drenaje en la zona (Ver figura 5.9).



Figura 5.9 Agua estancada presente en la cantera.

Como referencia a la magnitud de este impacto, la tabla 5.5 indica el registro de casos relacionados con enfermedades transmitidas por vectores, como el mosquito *Aedes*, adquiridas por los trabajadores de la cantera según el informe de seguridad, higiene y salud ocupacional de la misma para el primer semestre del año 2016.

Tabla 5.5 Registro de enfermedades ocupacionales causadas por mosquitos.

Enfermedad	Número de casos
Malaria	0
Fiebre Amarilla	0
Dengue	1
Chikungunya	2
Zika	2

Se considera un impacto negativo de intensidad alta, extenso, simple, temporal, de efecto directo a corto plazo, acumulativo, recuperable y reversible a mediano plazo, continuo y se clasifica como Moderado.

IA12 Acumulación de desechos industriales

En varios sectores de la cantera se puede apreciar la acumulación de desechos industriales, tales como maquinarias obsoletas, contenedores de aceite, partes metálicas de antiguas plantas de trituración y molienda, neumáticos en mal estado, escombros, etc. (Ver figura 5.10).

Se considera un impacto negativo de intensidad media, de extensión parcial, simple, persistente, de efecto directo a corto plazo, acumulativo, recuperable a mediano plazo, irreversible, irregular y se clasifica como Moderado.



Figura 5.10 Acumulación de desechos industriales en distintos lugares de la cantera.

Como se ha mencionado anteriormente, otros impactos no fueron clasificados usando la metodología de Conesa (1997), estos comprenden el riesgo de ahogo en la laguna, el riesgo vial por proyección de rocas a la carretera Mamera-El Junquito y el riesgo a comprometer los predios del Cementerio Principal del Oeste.

Con respecto al riesgo de ahogo, Somenson et. al (2014) proponen que sea de prioridad alta la atención de cuerpos de agua con profundidad superior a 1 m, presentes dentro del territorio de la cantera y que se encuentren a menos de 1 km de zonas urbanizadas, rutas transitadas o áreas recreativas. Este es el caso de la laguna presente en el frente Mina 1, ya que cumple con todas las características antes mencionadas. Aparte de un letrero de “acceso restringido”, que puede verse en la figura 5.11, no hay nada más que indique el potencial peligro que representa este factor.



Figura 5.11 Advertencia en la entrada a Mina 1.

La cantera posee muy bien definido sus límites con la carretera Mamera-El Junquito, un muro y una cerca los separan. Esta última, aparte de brindar mayor seguridad, también evita que algunas rocas puedan traspasar dicho límite. No se tienen registros de algún incidente en el cual alguna roca haya sido proyectada a la carretera, producto de alguna voladura por ejemplo, sin embargo en la figura 5.12 se observa como una roca se encuentra retenida en la cerca, cuya estructura se vio deformada producto de la energía con la que la roca la impactó. Somenson et. al (2014), consideran un riesgo bajo si la carretera no traspasa los terrenos de la cantera, lo cual corresponde con el caso de estudio ya que ésta se encuentra en la periferia.



Figura 5.12 Roca retenida en la cerca que separa la cantera y la carretera.

Con respecto al caso particular del Cementerio del Oeste, ubicado al norte de la Cantera (ver imagen 5.13), el artículo 16 de la Ley de Minas reza lo siguiente: “Queda prohibido realizar actividades mineras en poblaciones y cementerios”, razón por la cual la explotación minera no debe transgredir los límites de este lugar, como en efecto no lo hace.



Figura 5.13 Ubicación relativa del Cementerio del Oeste.

5.3 Programa de recuperación y remediación ambiental

A continuación se presentan una serie de programas orientados a la protección, recuperación y remediación ambiental del área de estudio. La actuación conjunta de estos planteamientos significaría un importante aporte en beneficio del ecosistema presente y futuro de la cantera.

5.3.1 Programa de protección de ecosistemas acuáticos y red hidrográfica

Objetivos:

- Evitar o disminuir los impactos asociados a la afectación hídrica de la zona que se deriven del proyecto minero.
- Llevar a cabo obras y acciones que conlleven a la recuperación y protección de las cuencas o microcuencas en el área de influencia de la cantera.

Impactos a tratar:

- Erosión del suelo por acción de las aguas de escorrentía.
- Modificación de la morfología del cauce de las corrientes, contaminación, desbordamiento y migración de quebradas.
- Proliferación de agentes patógenos en aguas estáticas.

Acciones y medidas a desarrollar:

Preventivas:

- Prohibir el vertido de cualquier tipo de agente contaminante, tales como lubricantes y desechos industriales o domésticos, a la laguna presente en el frente Mina 1. Se debe instalar un aviso en las cercanías de la laguna, el cual señale de manera clara lo antes expuesto.
- La reconfiguración de taludes debe incluir una inclinación aproximada de 2° hacia las bermas, con el fin de orientar las aguas de escorrentía hacia la base del talud, en donde se debe instalar un canal que se comuniqué con la red principal del drenaje. Esto evitará que las aguas circulen descontroladamente por la superficie de los bancos, proporcionando mayor estabilidad a los taludes y evitando que se formen cárcavas en las crestas.

Correctivas:

- Modificar las condiciones actuales de los drenajes propios de la cantera, debido a que estos no son capaces de retener y conducir correctamente las aguas de escorrentía. Se propone evaluar el régimen hídrico utilizando el Método Racional, ya que este funciona bien al ser aplicado en superficies no mayores a las 200 ha. A partir de ese análisis, generar un diseño de drenaje superficial que satisfaga las necesidades actuales y futuras de este aspecto.
- Los drenajes y cuencas de decantación deben gozar de un mantenimiento periódico, cuyos lapsos de tiempo deben someterse a revisión en base a la demanda de los mismos. Considerando la pluviosidad de la zona, se recomienda que se ejecute cada 2 meses y tantas veces como sea necesario durante la época de lluvias.

Mitigantes:

- Se deben instalar disipadores de energía en aquellas zonas en donde el caudal de agua presente sea significativo. Estos disipadores pueden ser zanjales en las que cae el agua y es retenida momentáneamente, pero también pueden ser canales de drenaje escalonados como los de la figura 5,14. Esta medida contribuye a disminuir el transporte de sedimentos y la formación de cárcavas.



Figura 5.14 Canales de drenaje escalonados.
Fuente: Joweers.com

5.3.2 Programa de protección de componentes atmosféricos

Objetivos

- Recomendar criterios para manejar de la forma más adecuada las actividades generadoras de contaminantes atmosféricos en la cantera.

Impactos a tratar

- Desplazamiento de la fauna autóctona.
- Alteración de la calidad del aire por emisión de material particulado y gases de combustión.
- Incremento en los niveles de ruido.

Acciones y medidas a desarrollar

Preventivas

- Se debe instaurar un plan de mantenimiento efectivo de la maquinaria pesada y los vehículos propiedad de la cantera. Con la intención de prevenir el aumento de las emisiones de gases de combustión y de disminuir los niveles de ruido que estos generan.
- Durante procesos de adquisición de maquinaria nueva, se debe garantizar que dichos equipos cumplan con los estándares internacionales que establecen los límites específicos a la cantidad de contaminantes que pueden ser liberados en el ambiente. Se sugiere utilizar como base el nivel Euro 3 de Normativa Europea.

Mitigantes

- Se deben instalar aspersores de agua en las cintas transportadoras de las plantas, justo al final de aquellas que llevan los productos finales hasta su lugar de acopio. Con la finalidad de que humedezcan las partículas de polvo, contribuyendo así a evitar que dichas partículas queden suspendidas en el aire por periodos de tiempo prolongado.
- Humedecimiento diario de la superficie del terreno donde han efectuado movimientos de tierra y de las vías internas de la cantera, con especial atención en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo (período seco), para evitar suspensión de partículas de calcio, aluminio y silicio del suelo.

- Protección del material cargado en las tolvas de los camiones volteo que se utilicen para el transporte de tierra, con una lona o encerado, desde el momento de su carga hasta el momento de llegada al sitio de almacenamiento o disposición.

5.3.3 Programa de recuperación y protección de suelos

Objetivos

- Prevenir la liberación y propagación de agentes tóxicos en el área de influencia de la cantera.
- Reacondicionar el suelo de las áreas afectadas por la actividad minera, de tal forma que permita desarrollar medidas de reforestación en la zona.

Impactos a tratar:

- Erosión del suelo por cambios en la topografía, ruptura de la capa vegetal y acción de las aguas de escorrentía.
- Descenso en la capacidad de infiltración debido a la consolidación del suelo.
- Transformación radical del entorno físico original y atracción escénica.
- Limitación en las riquezas y diversidad de la flora y fauna.

Acciones y medidas a desarrollar

Preventivas

- Se debe realizar una observación detallada de la maquinaria a diario, a fin de detectar algún posible bote de fluidos tóxicos (combustible, aceites, grasa, etc.), para que pueda ser tratado a tiempo. También se debe evitar que se derramen dichos fluidos durante las labores de mantenimiento de los equipos.
- Los desechos sólidos industriales, tales como lubricantes, filtros de aceites, neumáticos, entre otros, deben ser ubicados en contenedores adecuados, los cuales deben ser revisados mensualmente para prevenir cualquier fuga. Semestralmente, los desechos acumulados deben ser trasladados al relleno sanitario más cercano.

Correctivas

- Mantener un diseño de explotación acorde con los parámetros geotécnicos del macizo rocoso, citados más adelante en la presente investigación. De tal forma que la configuración de los taludes y sus respectivos drenajes, contribuya con el manejo paisajístico adecuado de la cantera.
- Se debe controlar de manera adecuada la producción de material en las plantas de reducción de tamaño de rocas, a fin de evitar la acumulación de productos poco comerciales, para así disminuir la extensión de suelos consolidados.

5.3.4 Programa de reforestación

Objetivo

- Plantear medidas que contribuyan a la recuperación de la cobertura vegetal en la superficie afectada por la actividad minera.

Impactos a tratar:

- Desplazamiento de la fauna autóctona.
- Erosión del suelo por cambios en la topografía, ruptura de la capa vegetal y acción de las aguas de escorrentía.
- Transformación radical del entorno físico original y atracción escénica.
- Limitación en las riquezas y diversidad de la flora y fauna.

Acciones y medidas a desarrollar

Se plantea desarrollar un programa de reforestación de dos etapas, la primera estará centrada en la adecuación topográfica y edafológica necesaria para la plantación de las especies vegetales, mientras que la segunda etapa estará enfocada en la incorporación de dichas especies, de conformidad con las características propias de cada una y las condiciones del terreno.

Primera Etapa:

Una vez culminadas la etapa útil de un sector de la cantera, en el cual se tenga la certeza de que no se desarrollará ninguna otra labor, se debe retirar cualquier escombro presente y se procederá a dotar la superficie con una capa de suelo de al menos 50 cm de profundidad, siempre y cuando este sector no cuente con dicha condición previamente. En la

medida en que sea posible, se procederá a nivelar el suelo para proporcionar una superficie estable que resista la erosión. En tal sentido, en los frentes de explotación el programa de reforestación estará dirigido a las bermas de los taludes o niveles de extracción, tal y como se ejemplifica en la figura 5.15.



Figura 5.15 Ejemplo de reforestación en niveles de extracción.
Fuente: Somenon et. al, 2014.

El suelo empleado en esta actividad será el mismo que haya sido removido en las labores de desarrollo de vías de acceso y demás actividades propias de la cantera. La fertilización de éste se basará en la preparación y acondicionamiento del terreno empleando únicamente abono orgánico, de manera tal que se asegure el crecimiento de las especies vegetales seleccionadas que se sembrarán en el área. De esta forma, se espera mejorar el porcentaje de materia orgánica que presenta el suelo afectado por las labores propias de la cantera (ver tabla 5.3). Adicional a esto, será necesario arar la superficie de terreno para oxigenarla, empleando para ello un tractor con escarificador (*ripper*) trasero de una o tres puntas como el de la imagen 5.15.



Figura 5.16 Tractor con ripper trasero de 3 puntas.
Fuente: Liebherr.com

Segunda etapa:

Se plantea la reforestación de la superficie afectada por las labores mineras empleando como principal agente la especie vegetal *Acacia mangium* (ver imagen 5.17). Según Ferrari y Wall (2004), esta leguminosa del género *Acacia*, perteneciente a la familia Fabaceae, se adapta perfectamente a las características climáticas de la zona de estudio (ver Anexo 3), además de que puede ser plantada en zonas bajo condiciones adversas de fertilidad. Al ser una planta fijadora de nitrógeno en el suelo, por si sola es capaz de mejorar las características propias del mismo, lo que eventualmente facilitará significativamente la siembra de especies autóctonas, tales como el cuji aroma (*Acacia farnesiana*) y la tara amarilla (*Oxyechia verbesinoides*).

Rasidah et. al (1998), señala que en condiciones climáticas similares a las de la zona de estudio, las raíces de la *Acacia Mangium* no suelen alejarse más de 3,70 m del tallo ni ir a más de 0,45 m de profundidad. Por tal motivo, se plantean patrones de siembra con espaciamientos de 3 x 3 metros, lo que supondría un aproximado de 1.100 plantas por hectárea.

Adicional a esto, se considera necesario incluir especies herbáceas de rápido crecimiento, las cuales contribuirán a reducir la erosión de los suelos en las etapas tempranas del proceso de revegetación. Para alcanzare este propósito, se sugiere utilizar especies autóctonas como la acrocera zizanioides, el aegopogon cenchroides y la agrostis alba.



Figura 5.17 *Acacia Mangium*.
Fuente: Ferrari y Wall (2004)

5.3.5 Programa de desincorporación de equipos e infraestructuras

Objetivo

- Generar medidas que promuevan la desincorporación de maquinaria e infraestructuras obsoletas, con la intención de evitar pasivos mineros.

Impactos a tratar:

- Transformación radical del entorno físico original y atracción escénica.
- Descenso en la capacidad de infiltración debido a la consolidación del suelo.
- Limitación en las riquezas y diversidad de la flora y fauna.

Acciones y medidas a desarrollar

Todos los actuales equipos, partes y piezas de maquinaria obsoleta, que han sido rezagados y desincorporados en la cantera, debido principalmente a que su vida útil ya ha sido superada, deben ser desmantelados y reubicados.

Para esta medida se recomienda entrar en contacto con las instituciones estatales encargadas del manejo, saneamiento, reciclaje y reutilización de desechos industriales, tales como la Recuperadora de Materias Primas, C.A (REMAPCA) y la empresa mixta Reciclajes Cuba-Venezuela (RECUVENSA).

El objetivo de estas empresas es el de adquirir los materiales reciclables de diversas fuentes o proveedores naturales (instituciones, organismos, fábricas estatales y sector privado), agregándole valor mediante la clasificación, corte, trituración y compactación, para suministrarlo posteriormente a aquellos sectores que lo requieran como insumos en la producción de nuevos bienes.

En ese sentido, también se recomienda entrar en contacto con el Complejo Siderúrgico Nacional (CSN), el cual posee una sede en Antímano (muy cerca de donde la cantera está ubicada). El CSN se encarga, entre otras cosas, de la transformación de desechos metálicos sólidos, provenientes de fuentes diversas, en materiales útiles para la construcción: cabillas, cerchas, mallas, pletinas, joist, alambres y otros productos metálicos (ver figura 5.18).



Figura 5.18 Productos del Complejo Siderúrgico Nacional.
Fuente: www.csn.gob.ve

Otra alternativa sería contactar a las diversas empresas privadas chatarrerías y recicladoras existentes en el tramo Mamera – La Yaguara, con la intención de lograr una alianza comercial que contribuya a la solución de esta problemática.

Con respecto al caso particular de los neumáticos, estos después de ser molidos y procesados, el caucho producido se puede utilizar como componente para la fabricación de suelas, planchas de goma, pisos de goma, alfombras, ruedas macizas y hasta en la fabricación de productos asfálticos e impermeabilizantes. En este sentido, se recomienda contactar empresas dispuestas a recibir esta materia prima, como por ejemplo la empresa Venezolana de Reciclaje, C.A. (VENRECICLA), la cual cuenta con una planta central de 5.500 m² en Cabudare, Municipio Palavecino, Estado Lara.

La cantera cuenta con instalaciones, construcciones y edificaciones para el desarrollo de la explotación minera, tales como oficinas administrativas, talleres de mantenimiento, tanques para el abastecimiento de combustible y agua, almacenes de logística, plantas de trituración, molienda y clasificación de rocas, entre otras. En general, éstas deberían ser demolidas o desinstaladas al término de su uso o vida operativa, sin embargo existe la posibilidad que estas puedan ser transferidas a terceros, llámese al Estado, entes públicos locales o a la comunidad, dependiendo de la intención de uso y el compromiso de asumir la responsabilidad total de éstas.

5.4 Determinación de parámetros geotécnicos de la roca aflorante

5.4.1 Zonificación de la zona de estudio

La evaluación de los parámetros geotécnicos se realizó en los actuales frentes de explotación de la cantera, éstos, a pesar de pertenecer al mismo yacimiento, presentan características estructurales ligeramente diferentes, tal y como se evidencia en los apartados subsiguientes. Por esta razón, se decide dividir el área de estudio en 2 zonas, correspondientes a cada frente de explotación (ver figura 5.19).



Figura 5.19 Zonificación de la zona de estudio geotécnico.

Para la zona MINA 1 se estudió una parte perteneciente al nivel de cota más bajo, mientras que para MINA 2 se le atribuyen los niveles 7 y 4 de explotación, la ubicación geográfica de estas subzonas se aprecia en la tabla 5.6. El resto de los niveles, tanto en un frente de explotación como en el otro, presentaban fuertes derrumbes producto del material que ha sido transportado mecánicamente de niveles superiores, lo cual imposibilitaba el estudio de la roca aflorante debido a que buena parte de ésta estaba cubierta por dichos derrumbes. Además de lo anterior descrito, el acceso a estas zonas era muy complicado y riesgoso, especialmente en MINA 1.

Tabla 5.6 Ubicación geográfica de las subzonas estudiadas.

Frente	Subzona	Punto	Coordenadas		Longitud [m]	Observación
			Norte	Oeste		
MINA 1	Zona 1	1	10°27'36"	67°00'49"	30	Nivel Laguna
		2	10°27'36"	67°00'46"		
MINA 2	Zona 1	1	10°27'37"	67°00'38"	27	Nivel 7
		2	10°27'37"	67°00'35"		
	Zona 2	1	10°27'34"	67°00'37"	20	Nivel 4
		2	10°27'35"	67°00'35"		

5.4.2 Ensayos Geomecánicos

5.4.2.1 Ensayos de compresión simple (UCS)

A través de los ensayos de compresión simple, cuyos reportes se aprecian en el Anexo 6, se puede notar la diferencia entre la litología presente en MINA 1 y MINA 2. La muestras 2124 pertenecen a este último, debido a su composición mineralógica (presencia de filosilicatos) los esquistos de esta zona son propensos a agrietarse con facilidad, aunado a esto, las microfisuras generadas por las voladuras y el tratamiento propio que se le da a las muestras para poder ser ensayadas, genera planos de debilidad de manera más significativa que si se compara con las muestras de mármol, por lo cual el valor obtenido en su ensayo se ve afectado.

MINA 1

Tabla 5.7 Resultados de los ensayos de compresión simple.

Muestra	Esfuerzo Axial (MPa)	Deformación Axial (%)	Módulo de Elasticidad Tangente al 50% (GPa)	Módulo de Elasticidad Secante al 50% (GPa)
2116	65,81	0,90	9,36	7,84
2117	145,76	1,39	10,87	9,97
2119	100,67	1,18	8,84	7,15
2146	60,91	0,84	6,24	5,95

Tabla 5.8 Valores promedios de los ensayos UCS con su respectiva desviación estándar

	Esfuerzo Axial (MPa)	Deformación Axial (%)	Módulo de Elasticidad Tangente al 50% (GPa)
Promedio	93,29	1,08	8,83
Desviación Estándar	39,21	0,26	1,93

Según los resultados obtenidos, la compresión no confinada promedio de las muestras estudiadas se ubica dentro de la categoría de roca “Media” según el ISRM (1979) y roca “Moderada” según Bieniawski (1989)(Ver reportes en Anexo 6). Con respecto a la clasificación de Deer y Miller, citada por Attewell y Farmer, (1976), la cual emplea el módulo de elasticidad tangente al 50 % y la resistencia a la compresión simple para identificar el tipo de roca, se obtiene valores de resistencia y rigidez medias (Ver Anexo 4).

Es importante destacar que muestras como la 2117 y la 2119, ambas de marmol, presentaban un grado muy bajo de meteorización y agrietamiento, condiciones que asemejan las características propias de la roca inalterada que compone al macizo rocoso en sus capas menos superficiales.

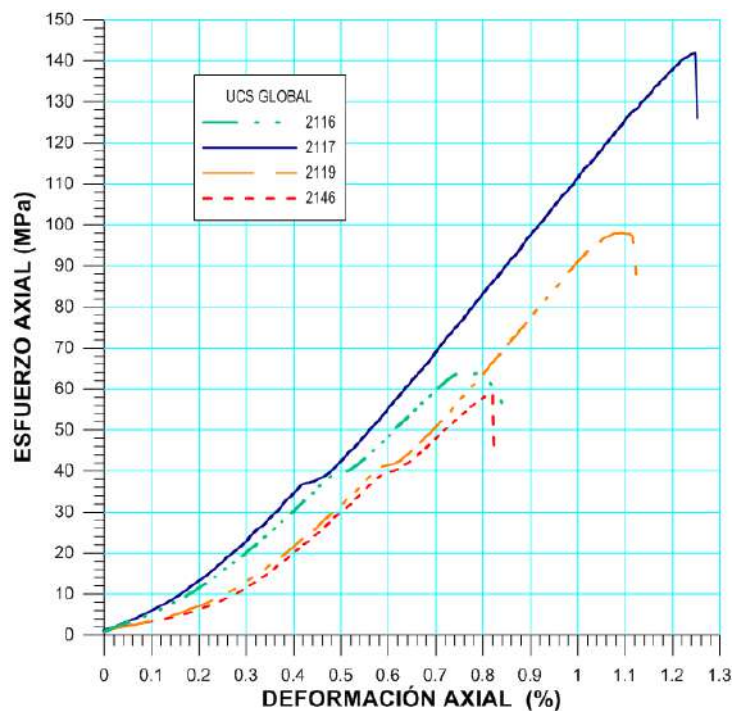


Figura 5.20 Curvas Esfuerzos vs Deformación.

Tabla 5.9 Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción.

Muestra	Esfuerzo Axial (MPa)
2119-1	-7.42
2119-2	-7,05

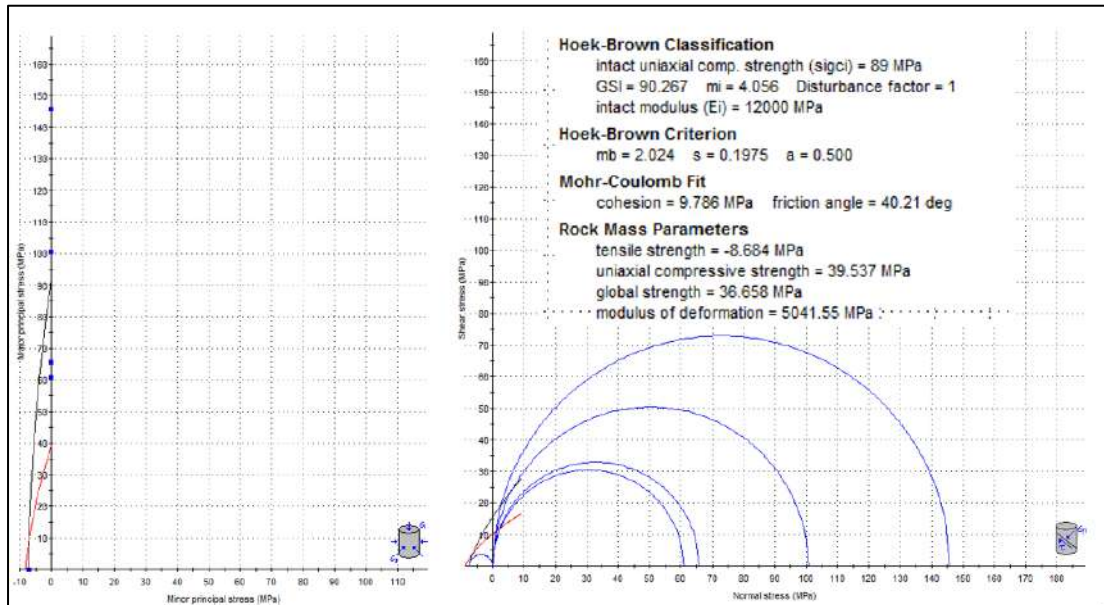


Figura 5.21 Representación gráfica de los esfuerzos de ZONA 1

Tal y como se aprecia en la figura 5.21, a través de los ensayos realizados a estas muestras de roca intacta se obtiene una envolvente Mohr-Coulum de los esfuerzos, la cual refleja un ángulo de fricción de 40° y una cohesión de 9,78 MPa.

MINA 2

Tabla 5.10 Resultados de los ensayos de compresión simple

Muestra	Esfuerzo Axial (MPa)	Deformación Axial (%)	Módulo de Elasticidad Tangente al 50% (GPa)	Módulo de Elasticidad Secante al 50% (GPa)
2147	56,82	0,87	6,67	6,41
2118	45,05	0,67	11,00	6,51
2124	23,69	0,52	16,31	6,28

Tabla 5.11 Valores promedios de los ensayos UCS con su respectiva desviación estándar

	Esfuerzo Axial (MPa)	Deformación Axial (%)	Módulo de Elasticidad Tangente al 50% (GPa)
Promedio	41.85	0.69	11.33
Desviación Estándar	16.79	0.18	4.83

Según los resultados obtenidos, la compresión no confinada promedio de las muestras estudiadas se ubica dentro de la categoría de roca “Moderada” según el ISRM (1979) y roca “Baja” según Bieniawski (1989)(Ver reportes en Anexo 6). Con respecto a la clasificación de Deer & Miller (1966), se obtiene valores de resistencia media y rigidez baja (Ver figura A.1).

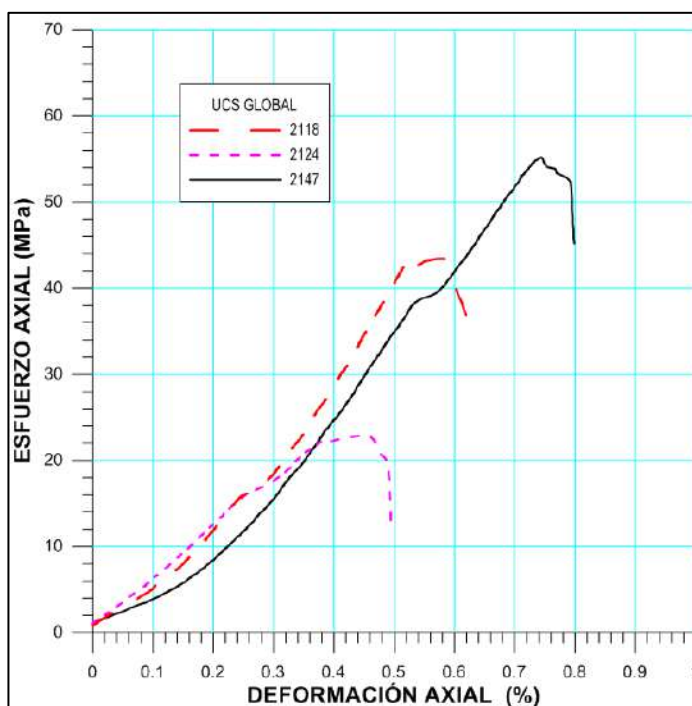


Figura 5.22 Curvas Esfuerzos vs Deformación.

Tabla 5.12 Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción.

Muestra	Esfuerzo Axial (MPa)
2113-1	-3,30
2119-3	-6,60

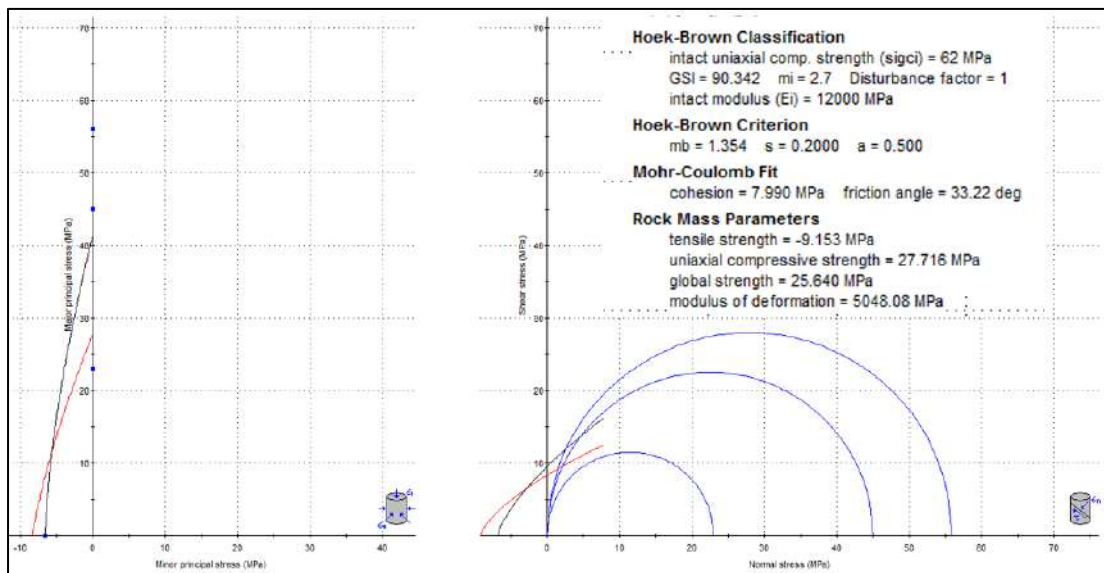


Figura 5.23 Representación gráfica de los esfuerzos de ZONA 2

Tal y como se aprecia en la figura 5.23, a través de los ensayos realizados en estas muestras de roca intacta se obtiene una envolvente Mohr-Coulomb de los esfuerzos, la cual refleja un ángulo de fricción de $33,22^\circ$ y una cohesión de 7,99 MPa.

4.4.2 Análisis de estabilidad de taludes

Se realizó el estudio cinemático y mecánico de estabilidad de los taludes en roca, con fallas tipo plana y de cuña. En base a lo mencionado en el apartado 2.2.11.5, para los casos de falla plana el análisis cinemático se realizó mediante los polos de las discontinuidades, donde todos aquellos que se encontraban dentro de la zona de falla indican inestabilidad. Por otra parte, se empleó la orientación de las familias principales de discontinuidades obtenidas para el estudio de las fallas de cuña, donde los puntos de intersección de las familias incluidos en la zona de falla indicaban inestabilidad.

5.4.2.1 MINA 1 - Zona 1

En base a los resultados de los ensayos de laboratorio realizados, las características propias de la litología en la zona y las condiciones actuales del talud estudiado, el análisis se llevó a cabo considerando un ángulo de fricción promedio de 40° y 0 MPa de cohesión.

Análisis cinemático

Tabla 5.13 Discontinuidades presentes en el talud de MINA 1 - Zona 1.

MINA 1	N	Plano	Tipo	Dip	Azimet (Dip Direction)	Cantidad
Zona 1 N55W68S	1	N55E 25S	Foliación	25	145	1
	2	N61E 31S	Foliación	31	151	1
	3	N50E 25S	Foliación	25	140	1
	4	N65E 21S	Foliación	21	155	2
	5	N46E 28S	Foliación	28	136	1
	6	N45E 45S	Foliación	45	135	1
	7	N13E 11S	Diaclasa	11	103	1
	8	N24W 70S	Diaclasa	70	246	1
	9	N48W 90S	Diaclasa	90	222	1
	10	N44W 86S	Diaclasa	86	226	1
	11	N65W 80S	Diaclasa	80	205	1
	12	N40W 79S	Diaclasa	79	230	2
	13	N55W 88S	Diaclasa	88	215	1
	14	N50W 79S	Diaclasa	79	220	3
	15	N28E7 4N	Diaclasa	74	298	3
	16	N21E8 4N	Diaclasa	84	291	1
	17	N35E7 5N	Diaclasa	75	305	2
	18	N40E6 9N	Diaclasa	69	310	2
	19	N09E 11S	Diaclasa	11	99	1

Tabla 5.14 Familias principales de la MINA 1 - Zona 1.

N	Plano	Tipo de discontinuidad
1	N69E 25S	Foliación
2	N37W 82S	Diaclasa 1
3	N46E 74N	Diaclasa 2

En la figura 5.24 se aprecia la concentración de polos de las familias de diaclasas señaladas en la tabla 5.14, junto con el plano que forma cada una. Mientras que la figura 5.25 señala, bajo el mismo formato, lo referente a la foliación.

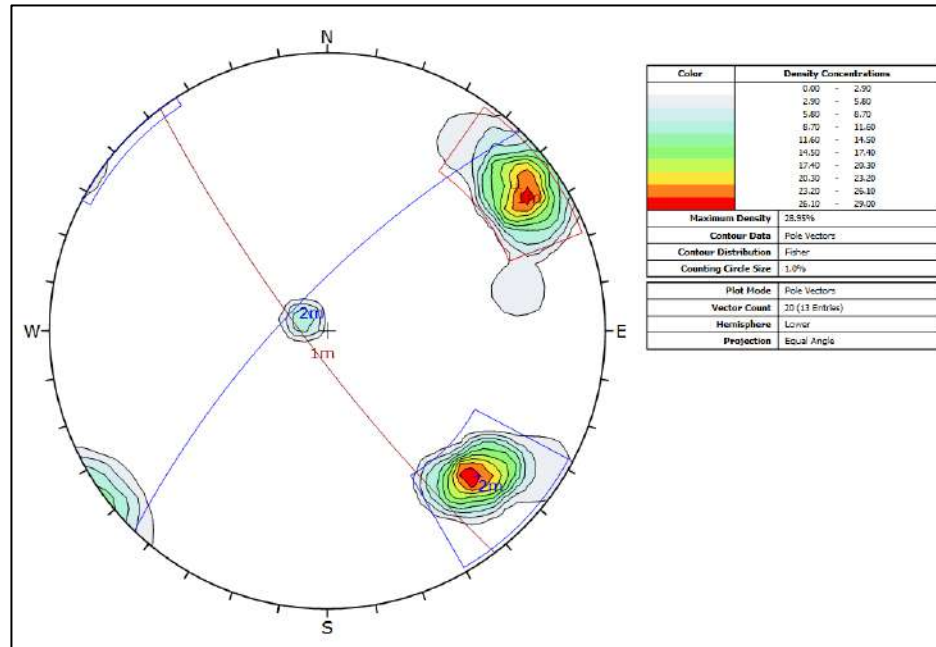


Figura 5.24 Concentración de polos y familias de diaclasas en la MINA 1 - Zona 1.

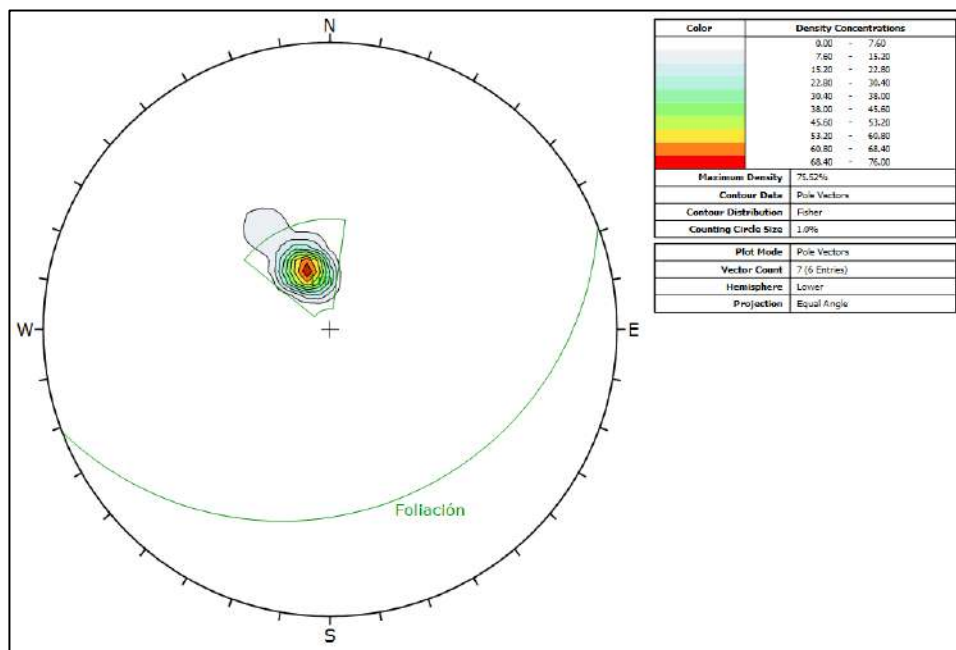


Figura 5.25 Concentración de polos y familias de foliación en la MINA 1 - Zona 1

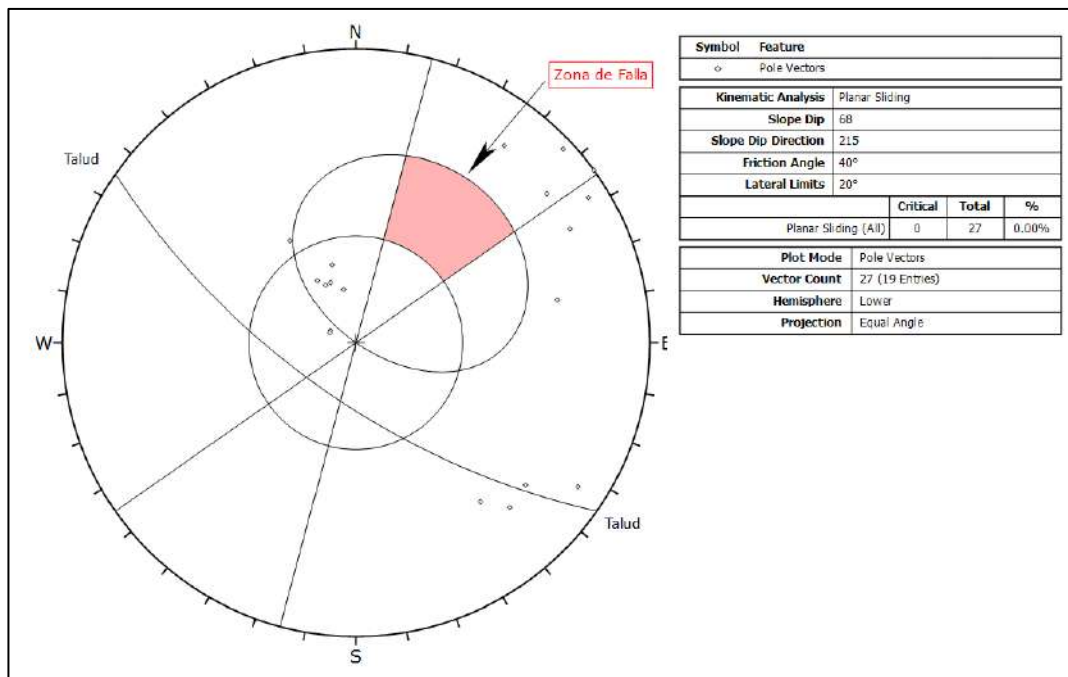


Figura 5.26 Estudio de falla plana en MINA 1 - Zona 1.

No existe posibilidad cinemática de falla plana ya que, como puede verse en la figura 5.26, ningún polo de los planos de discontinuidad se encuentra dentro de la zona de inestabilidad o falla.

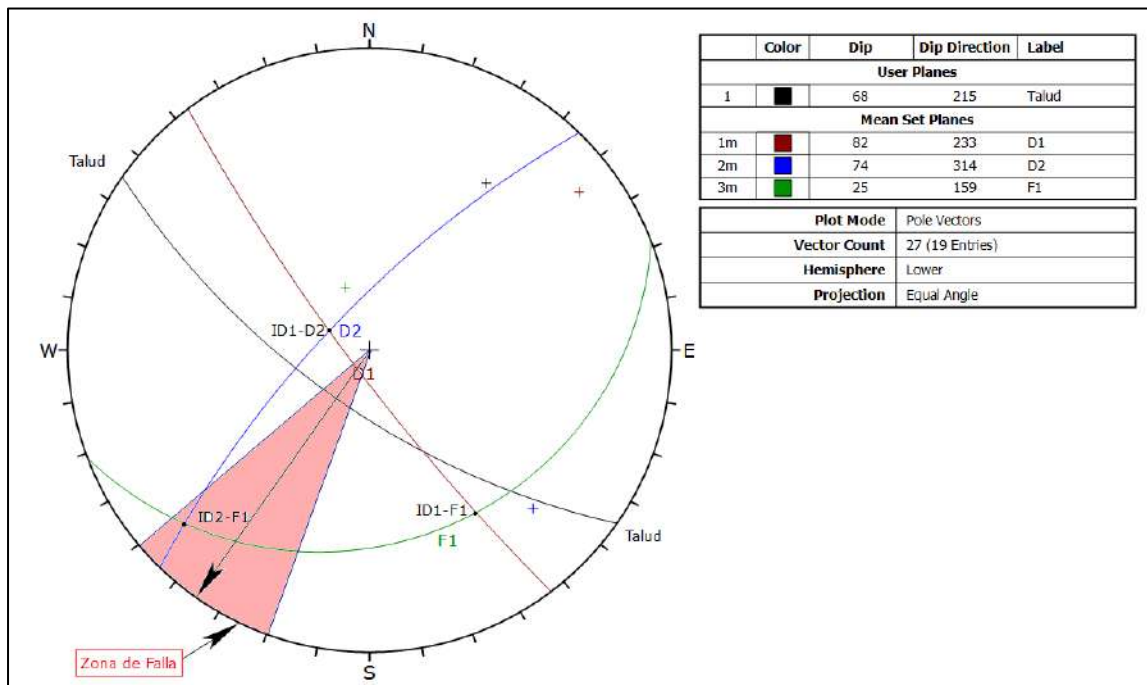


Figura 5.27 Estudio de falla en cuña en MINA 1 - Zona 1.

Del análisis de estabilidad cinemática para falla en cuña se presentan las líneas de intersección ID1-F1 y ID2-F1, que representan la dirección de deslizamiento de las dos posibles cuñas, observando que la única cuña que se forma es la ID2-F1 que aflora en la cara del talud ya que está en la misma dirección y con un buzamiento menor al de éste (ver figura 5.27). Con respecto a la intersección ID1-F1, la línea posee una inclinación muy alta y una orientación muy contraria a la cara del talud, por lo tanto no tiene posibilidad de movimiento (se encuentra fuera de la zona de falla. Ver figura 5.27).

Análisis Mecánico

Falla en cuña 1, a través de la intersección ID2-F1

Tabla 5.15 Resultados del análisis mecánico de la Cuña 1 en MINA 1 - Zona 1.

Factor de Seguridad	Altura del Talud (m)	Datos de la Cuña			Recta de Intersección	
		Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso (t)	Dip	Azimet (Dip Direction)
6,50	20	728	143.549	373.227	9,95	228

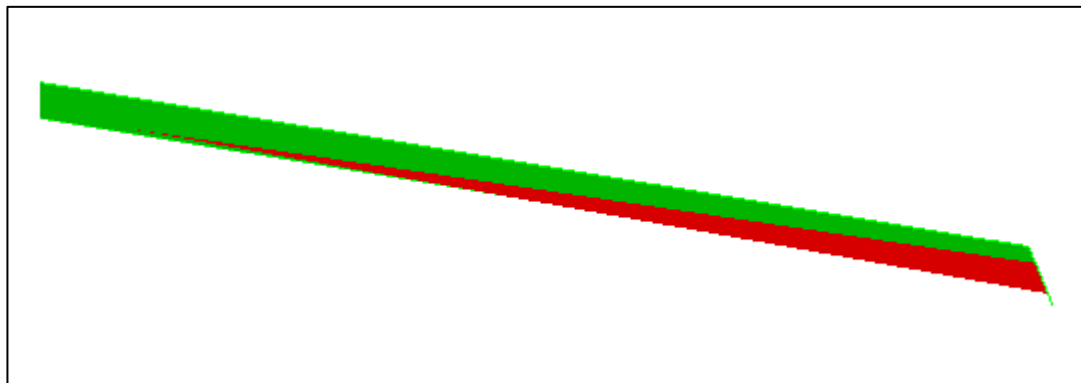


Figura 5.28 Vista de perfil de la configuración de la falla en cuña 1 de MINA 2 - Zona 1.

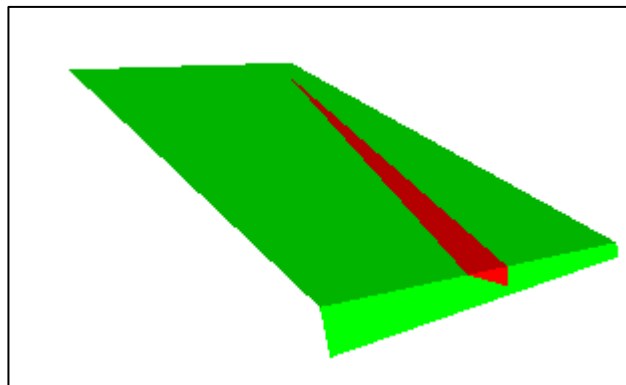


Figura 5.29 Vista en 3D de la configuración de la falla en cuña 1 MINA 1 - Zona 1.

En las figuras 5.28 y 5.29 se aprecia la configuración de la posible cuña formada, sin embargo, tal y como puede verse en la tabla 5,14, bajo las condiciones presentadas se obtiene un factor de seguridad de 6,50, muy por arriba del valor mínimo necesario de 1.5. Por lo cual se concluye que el talud es mecánicamente estable a falla en cuña a través de la recta de intersección ID2-F1.

5.4.2.2 MINA 2 - Zona 1

En base a los resultados de los ensayos de laboratorio realizados, las características propias de la litología en la zona y las condiciones actuales del talud estudiado, el análisis se llevó a cabo considerando un ángulo de fricción promedio de 33° y 0 MPa de cohesión.

Análisis Cinemático

Tabla 5.16 Discontinuidades presentes en el talud de MINA 2 - Zona 1.

MINA 2	N	Plano	Tipo	Dip	Azimet (Dip Direction)	Cantidad
Zona 1 N80W69S	1	N43E 25S	Foliación	25	133	2
	2	N4E 18S	Foliación	18	94	1
	3	N20E 12S	Foliación	12	110	1
	4	N3E 12S	Foliación	12	93	1
	5	N21E 21S	Foliación	21	111	2
	6	N17E 48S	Foliación	48	107	2
	7	N15E 22S	Foliación	22	105	1
	8	N60E 74N	Diaclasa	74	330	2
	9	N21E 84N	Diaclasa	84	291	1
	10	N50E 80N	Diaclasa	80	320	2
	11	N45E 78N	Diaclasa	78	315	1
	12	N46E 49S	Diaclasa	49	136	2
	13	N66E 55S	Diaclasa	55	156	1
	14	N59E 49S	Diaclasa	49	149	3
	15	N74W 69S	Diaclasa	69	196	3
	16	N80W 59S	Diaclasa	59	190	1
	17	N85W 65S	Diaclasa	65	185	1
	18	N46W 78S	Diaclasa	78	224	1
	19	N77W 74S	Diaclasa	74	193	2

Tabla 5.17 Familias principales de la MINA 2 - Zona 1.

N	Plano	Tipo de discontinuidad
1	N36E 19S	Foliación
2	N65W 68S	Diaclasa 1
3	N65E 77N	Diaclasa 2
4	N68E 50S	Diaclasa 3

En la figura 5.30 se aprecia la concentración de polos de las familias de diaclasas señaladas en la tabla 5.17, junto con el plano que forma cada una. Mientras que la figura 5.25 señala, bajo el mismo formato, lo referente a la foliación.

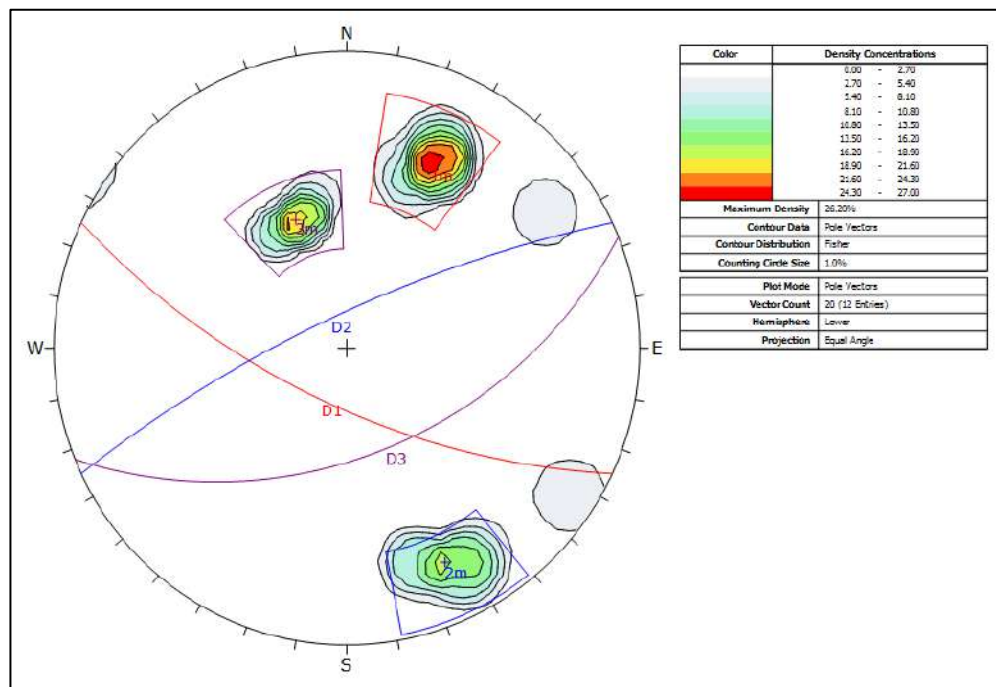


Figura 5.30 Concentración de polos y familias de diaclasas en la MINA 2 - Zona 1.

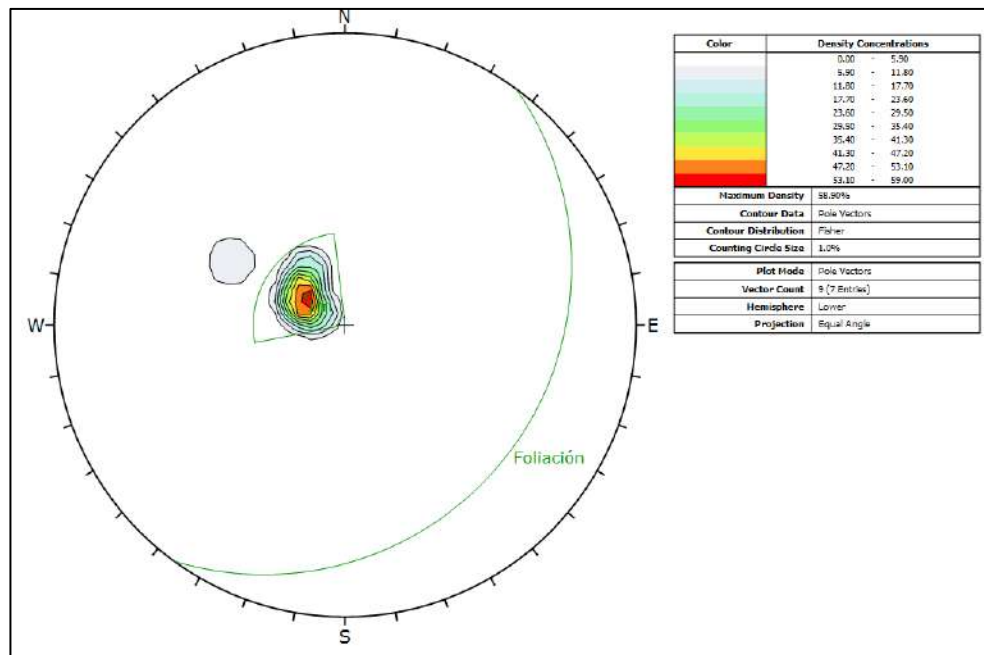


Figura 5.31 Concentración de polos y familias de foliación en MINA 2 - Zona 1.

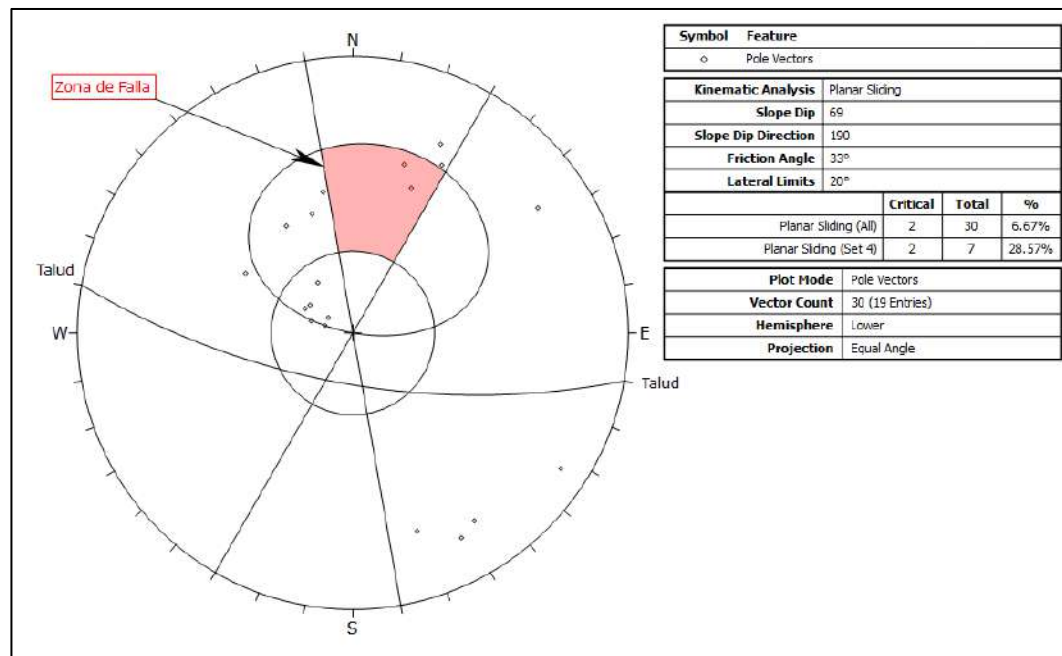


Figura 5.32 Estudio de falla plana en MINA 2 - Zona 1

Existe posibilidad cinemática de falla plana controlada por los planos de la familia “Diaclasas 1” (N65W 68S), ya que el rumbo de éstas es aproximadamente igual al del talud y su buzamiento es menor al de éste y en el mismo sentido. Esto se evidencia en la figura 5.32, en donde se aprecian polos de la familia “Diaclasas 1” dentro de la zona de inestabilidad.

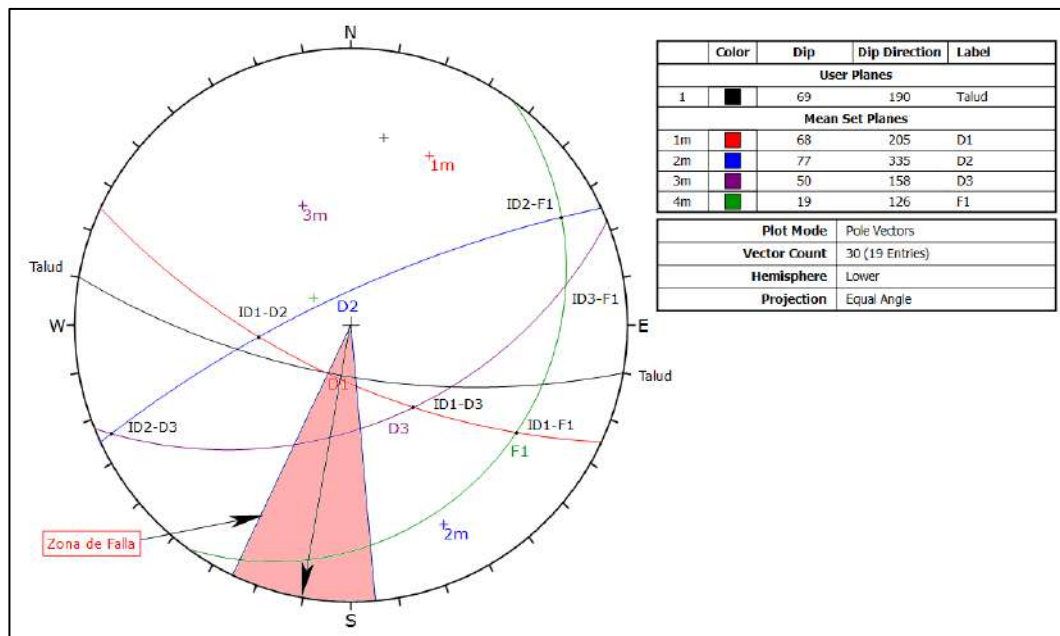


Figura 5.33 Estudio de falla en cuña en MINA 2 - Zona 1.

Del análisis de estabilidad cinemática para falla en cuña se presentan las líneas de intersección ID1-F1, ID1-D3 y ID2-D3, que representan la dirección de deslizamiento de las tres posibles cuñas, observando que ninguna de ellas se forma, ya que estas líneas de intersección poseen una orientación muy contraria a la cara del talud y por lo tanto no tienen posibilidad de movimiento (se encuentran fuera de la zona de falla, Ver figura 5.33).

Análisis Mecánico

Falla plana: Diaclasas 1 (N65W 68S)

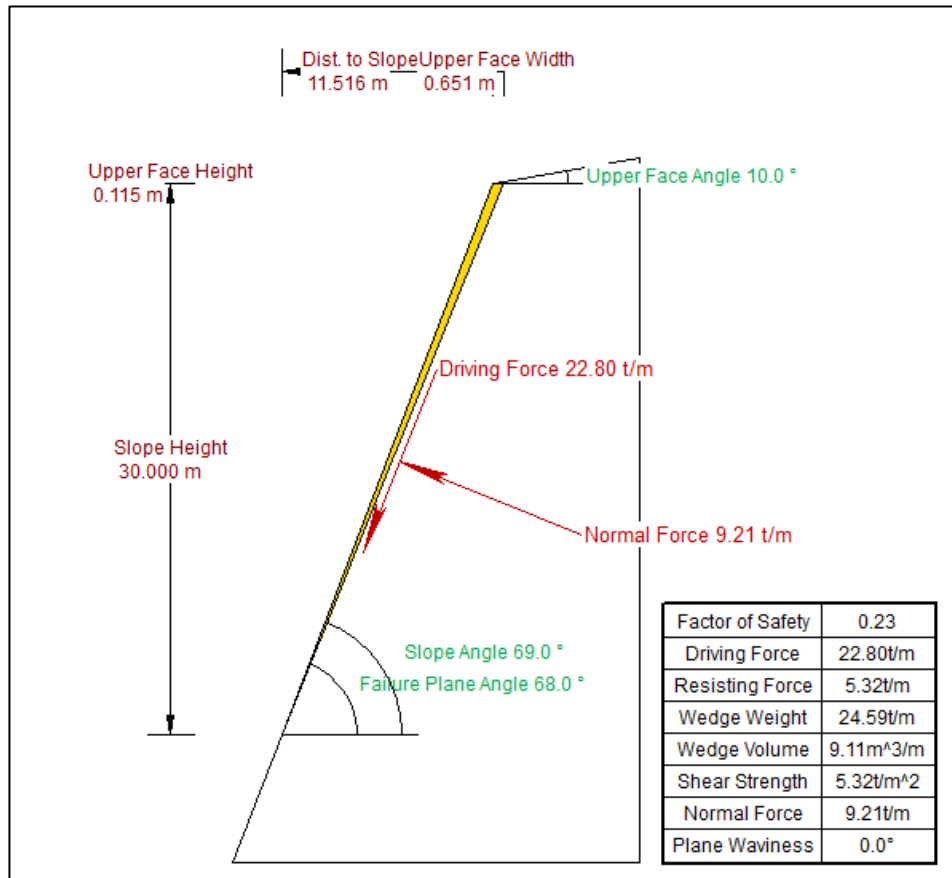


Figura 5.34 Configuración del talud y resultados del análisis mecánico de la falla plana de MINA 2 - Zona 1.

Tal y como puede apreciarse en la figura 5.34, bajo las condiciones presentadas se obtiene un factor de seguridad de 0.23, muy por debajo del valor mínimo necesario de 1.5. Por lo cual se concluye que el talud es mecánicamente inestable a falla plana a través de la familia de discontinuidades “Diaclasas 1”. La representación 3D de esta falla se aprecia en la figura 5.34, donde la parte de color verde representa al talud y la gris al bloque con posibilidad de desprendimiento.

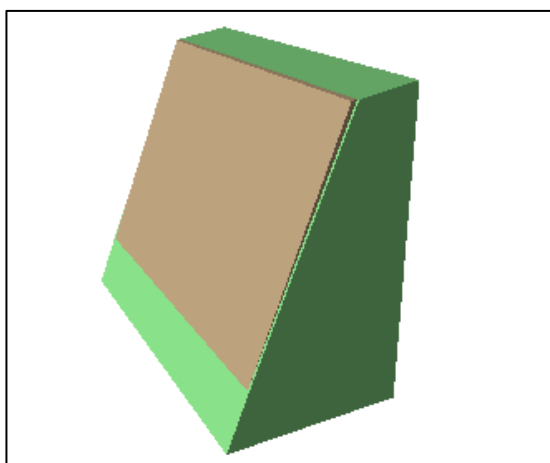


Figura 5.35 Vista en 3D de la configuración de la falla plana de MINA 2 - Zona 1.

5.4.2.3 MINA 2 - Zona 2

En base a los resultados de los ensayos de laboratorio realizados, las características propias de la litología en la zona y las condiciones actuales del talud estudiado, el análisis se llevó a cabo considerando un ángulo de fricción promedio de 33° y 0 MPa de cohesión.

Análisis Cinemático

Tabla 5.18 Discontinuidades presentes en el talud de MINA 2 - Zona 2.

MINA 2	N	Plano	Tipo	Dip	Azimut (Dip Direction)	Cantidad
Zona 2 N79W72S	1	N43E 25S	Foliación	25	133	1
	2	N45E 45S	Foliación	45	135	1
	3	N53E 40S	Foliación	40	143	2
	4	N61E 49S	Foliación	49	151	1
	5	N61E 54S	Foliación	54	151	2
	6	N30E 74N	Diaclasa	74	300	2
	7	N21E 84N	Diaclasa	84	291	1
	8	N26E 80N	Diaclasa	80	296	2
	9	N78W 68S	Diaclasa	68	192	2
	10	N81W 69S	Diaclasa	69	189	3
	11	N71W 69S	Diaclasa	69	199	1
	12	N75W 75S	Diaclasa	75	195	1

Tabla 5.19 Familias principales de la MINA 2 - Zona 2.

N	Plano	Tipo de discontinuidad
1	N68E 74S	Foliación
2	N66W 65S	Diaclasa 1
3	N39E 68N	Diaclasa 2

En la figura 5.24 se aprecia la concentración de polos de las familias de diaclasas señaladas en la tabla 5.14, junto con el plano que forma la orientación media de cada una. Mientras que la figura 5.25 señala, bajo el mismo formato, lo referente a la foliación.

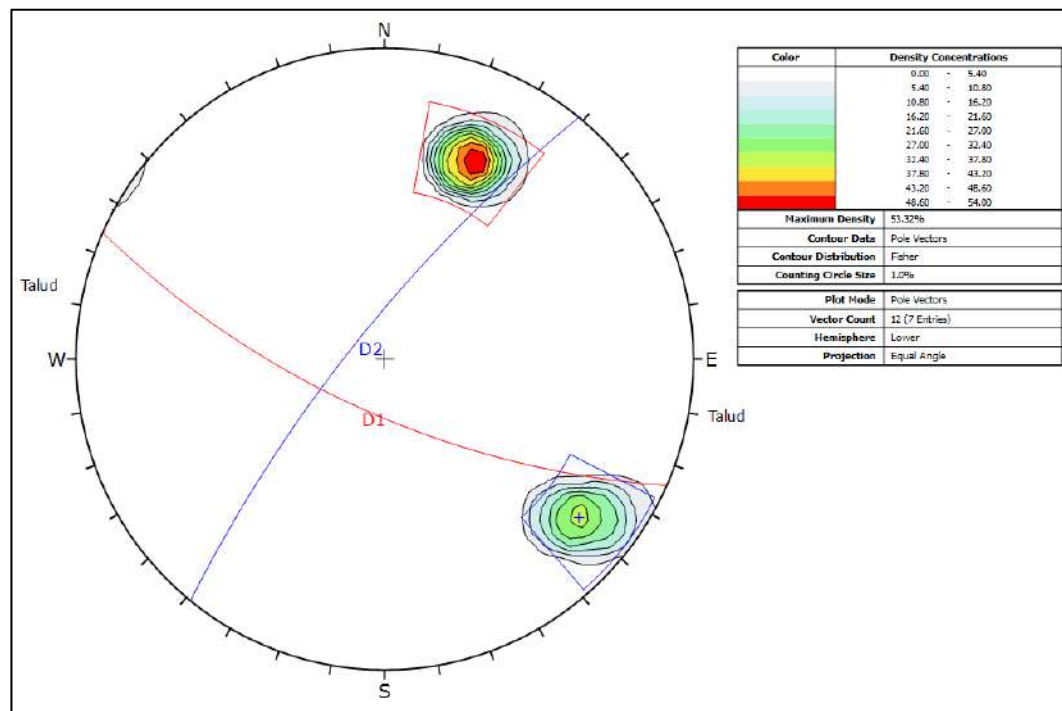


Figura 5.36 Concentración de polos y familias de diaclasas en la MINA 2 - Zona 2.

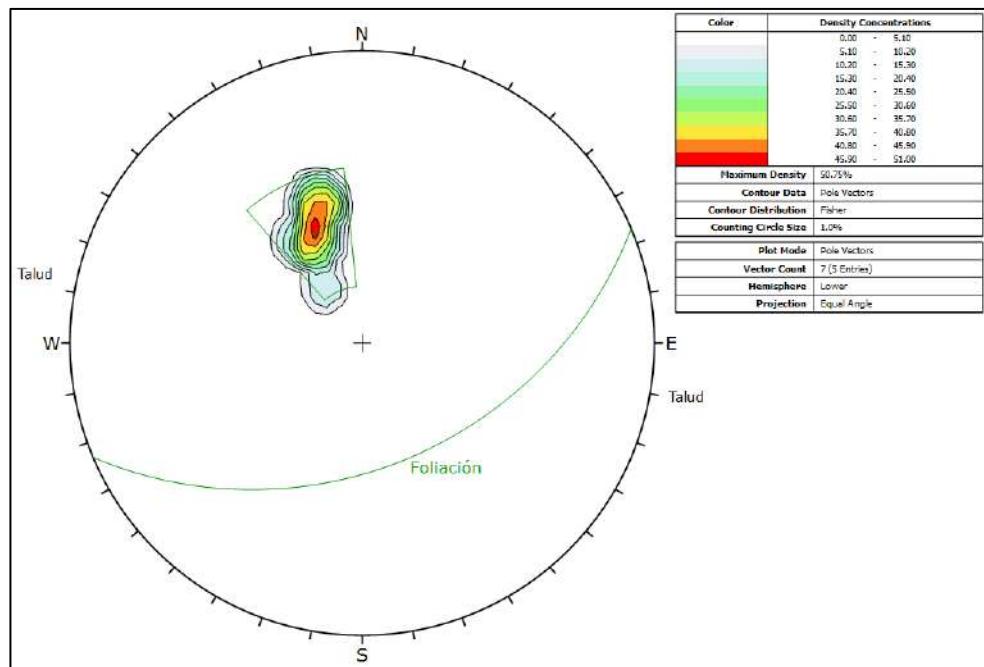


Figura 5.37 Concentración de polos y familias de foliación en la MINA 2 - Zona 2

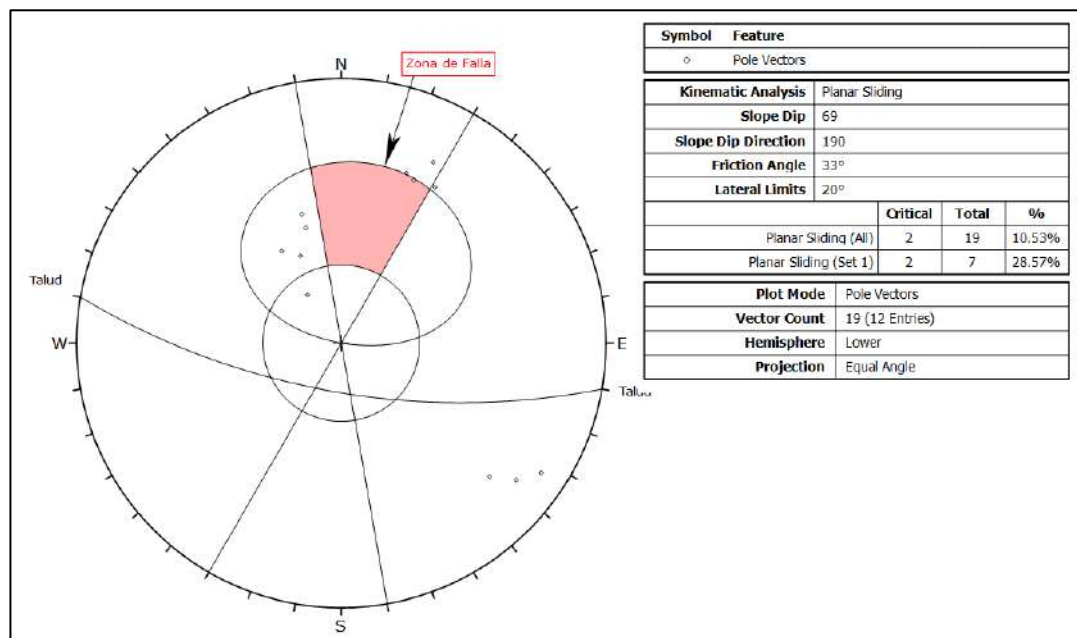


Figura 5.38 Estudio de falla plana en MINA 2 - Zona 2.

Existe posibilidad cinemática de falla plana controlada por los planos de la familia “Diaclasas 1” (N66W 70S), ya que el rumbo de éstas es aproximadamente igual al del talud y su buzamiento es menor al de éste y en el mismo sentido. Esto se evidencia en la figura 5.38, en donde se aprecian polos de la familia “Diaclasas 1” dentro de la zona de inestabilidad.

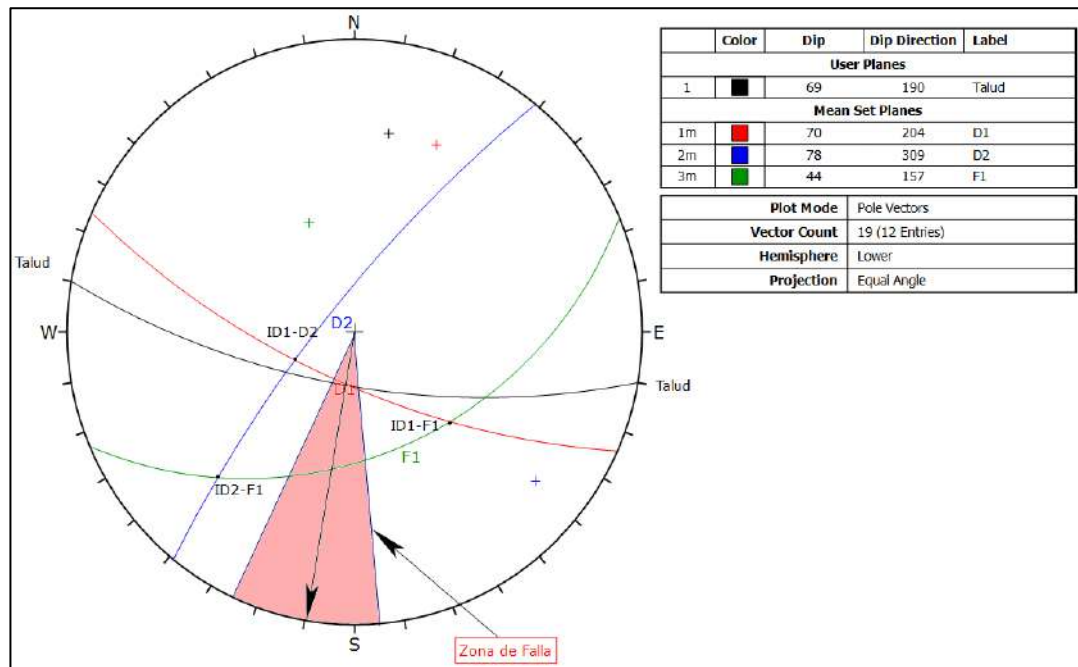


Figura 5.39 Estudio de falla en cuña en MINA 2 - Zona 2.

Del análisis de estabilidad cinemática para falla en cuña se presentan las líneas de intersección ID1-F1, ID2-F1, que representan la dirección de deslizamiento de las dos posibles cuñas, observando que ninguna de ellas se forma, ya que estas líneas de intersección poseen una orientación muy contraria a la cara del talud y por lo tanto no tienen posibilidad de movimiento (se encuentran fuera de la zona de falla. Ver figura 5.39).

Análisis Mecánico

Falla plana: Diaclasas 1 (N66W 65S)

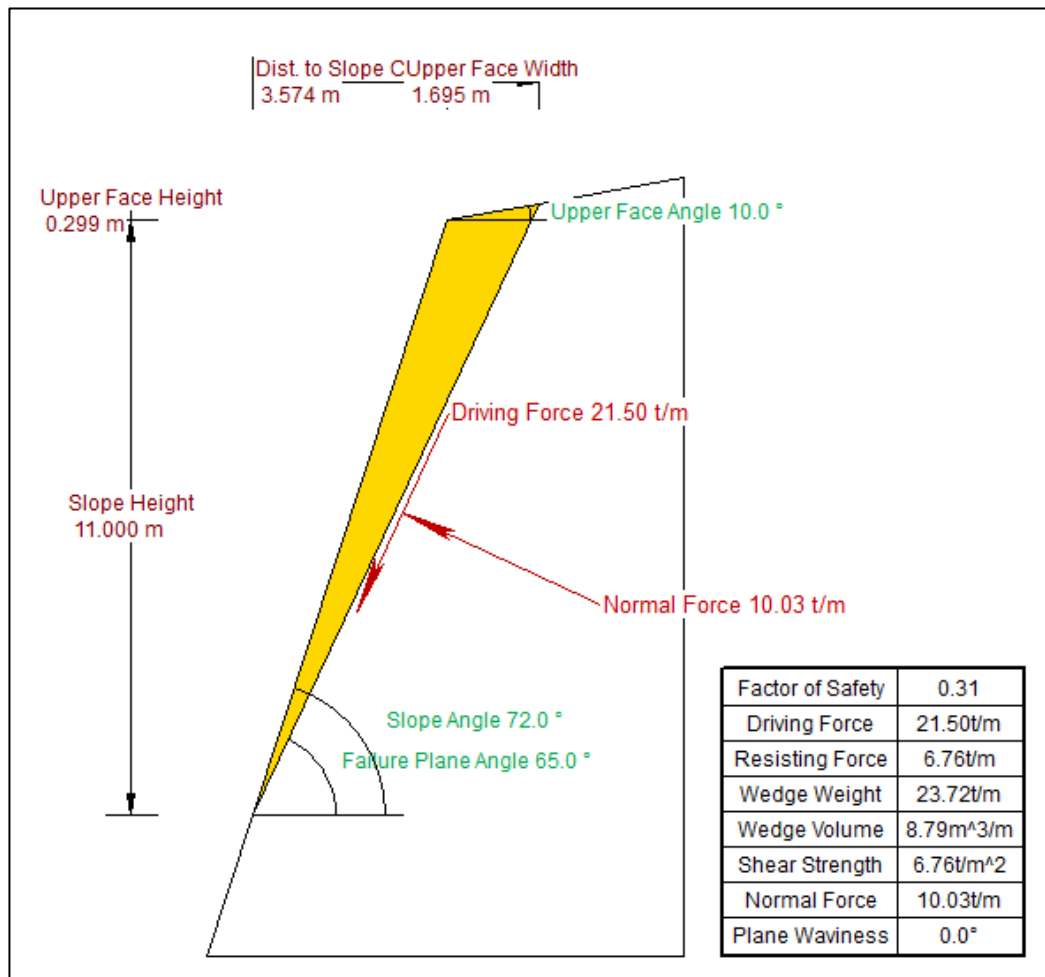


Figura 5.40 Configuración del talud y resultados del análisis mecánico de la falla plana de MINA 2 - Zona 2.

Tal y como puede verse en la figura 5.40, bajo las condiciones presentadas se obtiene un factor de seguridad de 0.31, muy por debajo del valor mínimo necesario de 1.5. Por lo cual se concluye que el talud es mecánicamente inestable a falla plana a través de la familia de discontinuidades “Diaclasas 1”. La representación 3D de esta falla se aprecia en la figura 5.41, donde la parte de color verde representa al talud y la gris al bloque con posibilidad de desprendimiento.

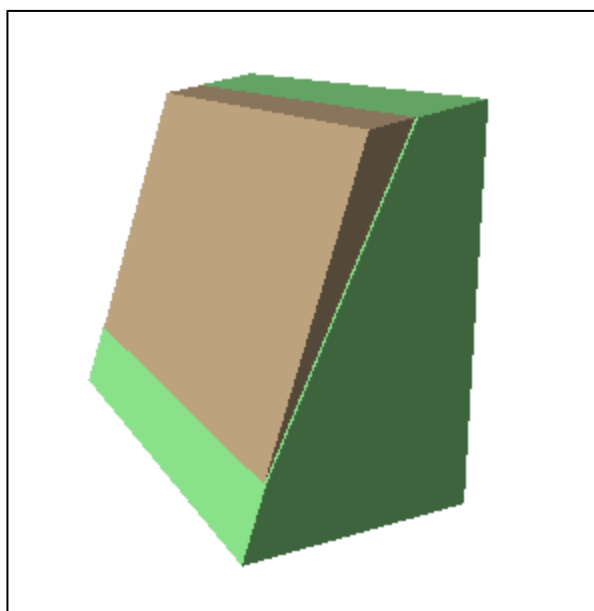


Figura 5.41 Vista en 3D de la configuración de la falla plana de MINA 2 - Zona 2.

5.4.3 Clasificación del macizo rocoso

Se realizó la clasificación del macizo rocoso empleando el índice RMR (Bieniawski, 1973) y el índice SMR (Romana, 1993). Es importante mencionar que el factor RQD se estimó por medio de la formula $RQD = 115 - 3.3J_v$ (Deere y Deere, 1988), siendo el parámetro J_v calculado mediante la fórmula:

$$J_v = \sum_{i=1}^j \frac{1}{S_i}$$

Dónde S_i representa el espaciamiento promedio de cada familia de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (1 m^3) del macizo rocoso.

5.4.2.1 MINA 1 - Zona 1

A continuación se presenta la clasificación del macizo rocoso de MINA 1 - Zona 1, la cual puede apreciarse en la figura 5.42. La estimación del RQD de esta subzona se aprecia en la tabla 5.20. La tabla 5.21 refleja resultados obtenidos según la clasificación RMR de Bieniawski (1973), mientras que la tabla 5.22 señala los valores a considerar para determinar el índice SMR de Romana (1993).



Figura 5.42 MINA 1 - Zona 1.

Tabla 5.20 Estimación del RQD para MINA 1 - Zona 1.

Familias	S [m]	1/Si	Jv ($\Sigma(1/Si)$)	RQD ($115-3.3Jv$)
1	0,28	3,60	9,40	83,98
2	0,33	3,00		
3	0,36	2,80		

Tabla 5.21 Clasificación RMR para MINA 1 - Zona 1.

MINA 1 - Zona 1.	Resultado	Valoración
UCS [Mpa]	93,29	7
RQD [%]	83,98	17
Espaciamiento [m]	0,3	10
Long. Discontinuidad [m]	4,5	2
Apertura	Cerrada	4
Rugosidad	Muy rugosa	6
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligera	5
Flujo de Agua	Seco	15
Total		77
Clase		II
Descripción		Roca Buena
Ángulo de fricción		35° - 45°

Tabla 5.22. Clasificación SMR para MINA 1 - Zona 1.

Factores de corrección	Línea de intersección de Cuña 1	
	Dip	Azimut
	10	228
F1 ($ 228 - 215 = 13$)	0,7	
F2 ($10 < 12$)	0,15	
F3 ($10 - 68 = -58$)	-60	
F4 (Voladura o Mecanico)	0	
SMR	71	

Considerando los valores de la recta de intersección, identificada como ID2-F1, formada en la cuña 1, se calculan los factores de corrección para el RMR y se obtiene un *rating* SMR de 71 (ver tabla 5.22). Por lo tanto se cataloga la roca como “normal” y “parcialmente estable”, con algunas juntas y se recomienda tratamiento sistemático.

5.4.2.2 MINA 2 - Zona 1

A continuación se presenta la clasificación del macizo rocoso de MINA 2 - Zona 1, la cual puede apreciarse en la figura 5.43. La estimación del RQD de esta zona se aprecia en la tabla 5.23. La tabla 5.24 refleja resultados obtenidos según la clasificación RMR de Bieniawski (1973), mientras que la tabla 5.25 señala los valores a considerar para determinar el índice SMR de Romana (1993).



Figura 5.43 MINA 2 - Zona 1.

Tabla 5.23 Estimación del RQD para MINA 1 - Zona 1.

Familias	S [m]	1/Si	Jv ($\Sigma(1/Si)$)	RQD ($115-3.3Jv$)
1	0,23	4,40	12,40	74,08
2	0,31	3,20		
3	0,33	3,00		
4	0,56	1,80		

Tabla 5.24 Clasificación RMR para MINA 2 - Zona 1.

Zona Mina 2 – Nivel 7	Resultado	Valoración
UCS [Mpa]	41,85	4
RQD [%]	74,08	13
Espaciamiento [m]	0,35	10
Long. Discontinuidad [m]	12	1
Apertura	Moderada	1
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro <5 mm	4
Alteración	Moderada	3
Flujo de Agua	Seco	15
Total		56
Clase		III
Descripción		Roca Justa
Ángulo de fricción		25° - 35°

Tabla 5.25 Clasificación SMR para MINA 2 - Zona 1.

Factores de corrección	Plana 1
	Diaclasas 1
F1 ($ 65 - 80 = 15$)	0.7
F2 (68 > 45)	1
F3 (68 - 75 = -7)	-50
F4 (Voladura o Mecánico)	0
SMR	21

Considerando la orientación de la familia Diaclasas 1 (N65W 68S), la cual representa inestabilidad cinemática para falla plana, se calculan los factores de corrección para el RMR y se obtiene un *rating* SMR de 21 (ver tabla 5.25). Por lo tanto se cataloga la roca como “mala” e “inestable” y se aconseja un tratamiento correctivo del talud.

5.4.2.3 MINA 2 - Zona 2

A continuación se presenta la clasificación del macizo rocoso de MINA 2 - Zona 2, la cual puede apreciarse en la figura 5.44. La estimación del RQD de esta zona se aprecia en la tabla 5.26. La tabla 5.27 refleja resultados obtenidos según la clasificación RMR de Bieniawski (1973), mientras que la tabla 5.28 señala los valores a considerar para determinar el índice SMR de Romana (1993).



Figura 5.44 MINA 2 - Zona 2.

Tabla 5.26 Estimación del RQD para MINA 1 - Zona 1.

Familias	S [m]	1/Si	Jv ($\Sigma(1/Si)$)	RQD ($115-3.3Jv$)
1	0,31	3,20	10,80	79,36
2	0,24	4,20		
3	0,29	3,40		

Tabla 5.27 Clasificación RMR MINA 2 - Zona 1

Zona Mina 2 – Nivel 3	Resultado	Valoración
UCS [Mpa]	41,85	4
RQD [%]	79,36	17
Espaciamiento [m]	0,28	10
Long. Discontinuidad [m]	6	2
Apertura	Moderada	1
Rugosidad	Muy rugosa	6
Relleno	Relleno duro <5 mm	4
Alteración	Moderada	3
Flujo de Agua	Seco	15
Total		62
Clase		II
Descripción		Roca Buena
Ángulo de fricción		35°-45°

Tabla 5.28 Clasificación SMR para MINA 2 - Zona 2

Factores de corrección	Plana 1
	Diaclasas 1
F1 (66 – 79 = 13)	0.7
F2 (65 > 45)	1
F3 (65 - 72 = -7)	-50
F4 (Voladura o Mecánico)	0
SMR	27

Considerando la orientación de la familia Diaclasas 1 (N66W 65S), la cual representa inestabilidad cinemática para falla plana, se calculan los factores de corrección para el RMR y se obtiene un *rating* SMR de 27 (ver tabla 5.28). Por lo tanto se cataloga la roca como “mala” e “inestable” y se aconseja un tratamiento correctivo del talud.

5.5 Consideraciones del cierre de mina en la planificación de largo plazo

5.5.1 Cierre temporal

Como resultado del trabajo de campo realizado, la información recolectada, las apreciaciones del personal técnico de las diferentes áreas de la cantera, las características y evaluaciones de sus reservas, el programa de producción y el planeamiento futuro socio-productivo, no se considera probable la ocurrencia de un cierre temporal de la actividad minera en la cantera durante el resto del periodo de vida útil. No obstante, no se descarta la opción de cierre por eventos fortuitos.

Si como consecuencia de condiciones económicas, políticas o por razones de índole social, la cantera se viera obligada a suspender temporalmente sus actividades de producción, se debe continuar con la ejecución de los programas de restauración y manejo ambiental anteriormente descritos en este capítulo, sin embargo, no se incluye el desmantelamiento de la infraestructura. Asimismo, es importante indicar que durante esta etapa se deben mantener operativas todas las instalaciones que formen parte del sistema de drenaje.

De ser posible, previo a esta etapa de cierre, en el programa de revegetación se debe priorizar la siembra de las especies de rápido crecimiento, con la finalidad de cubrir prontamente las superficies expuestas, de modo que se reduzca el potencial erosivo del agua y el posible arrastre de sedimentos.

5.5.2 Cierre progresivo

Este será el escenario que debe ocurrir de manera simultánea a la etapa de producción de la mina, la cual está estimada en no menos de 50 años, para aquellos sectores o componentes que dejen de ser útiles.

Dentro de las actividades previstas a realizar en esta etapa, se pueden listar:

- De ser posible, elaborar anualmente un estudio de impacto ambiental para estimar la evolución de este aspecto y tomar medidas adecuadas en base a ello.
- Reconfiguración de la geometría actual de los taludes. En base a los resultados obtenidos en el apartado 5.4, las leyes expuestas en la sección 2.3.9 y las características de los equipos de arranque mecánico propiedad de la cantera (Anexo 5), se considera apropiada la conformación de taludes con 12 m de altura y una pendiente de 60°. De esta forma se pretende aprovechar al máximo el yacimiento, sin comprometer la estabilidad física del entorno. Al analizar el caso más desfavorable,

MINA 2-Zona 1, bajo esta configuración y suponiendo que su RMR se mantenga en el tiempo, se obtiene:

Tabla 5.29 Clasificación SMR para MINA 2 - Zona 2 con talud reconfigurado.

Factores de corrección	Plana 1
	Diaclasas 1
F1 ($ 65 - 80 = 15$)	0.7
F2 ($60 > 45$)	1
F3 ($68 - 60 = 8$)	-6
F4 (Voladura o Mecánico)	0
SMR	52

Por lo tanto se catalogaría la roca como “normal” y “parcialmente estable”, con algunas juntas y se recomienda tratamiento sistemático. La imagen 5.45 refleja las condiciones topográficas actuales de la zona de estudio, mientras que en la 5.46 se puede apreciar la topografía de *Pit Final* bajo la reconfiguración planteada anteriormente.

- Considerando lo expuesto anteriormente, se propone emplear mallas o redes metálicas para estabilizar los taludes finales de mina. Esta medida es factible ya que, bajo la configuración de talud planteada, no se esperan deslizamientos o desprendimientos de grandes bloques.
- Ejecutar los programas de recuperación y remediación ambiental sugeridos en el apartado 5.3. Así mismo, se debe planificar y ejecutar un programa social, que considere las necesidades y opiniones de las comunidades socio-productivas aledañas a la cantera.
- La laguna presente en Mina 1 debe ser saneada por completo, evitando el vertido de cualquier agente contaminante y controlando el desarrollo de especies vegetales invasivas que comprometan el equilibrio de este ecosistema.

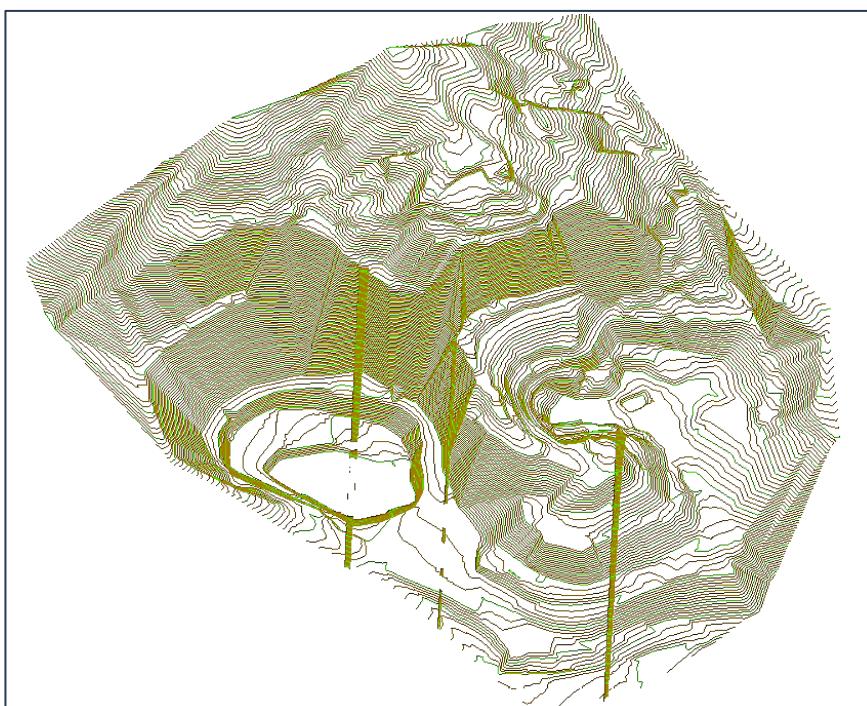


Figura 4.45 Topografía de la zona de estudio para el año 2016.

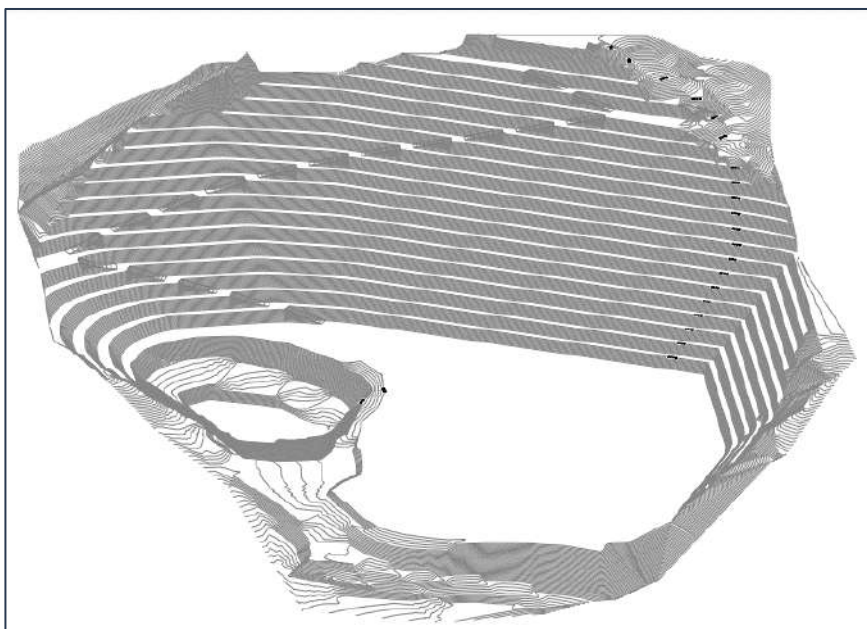


Figura 4.45 Topografía de *Pit Final* planteada para la zona de estudio.

5.5.3 Propuesta de cambio de uso del territorio

Considerando todo lo anteriormente descrito, especialmente lo mencionado en los apartados 2.2.8, 2.2.9, 2.2.12.6 y 5.4, así como el programa de reforestación planteado en esta investigación, se propone la conformación de un bosque de Acacia Mangium en el área de estudio, el cual representaría un lugar de encuentro entre la naturaleza y la comunidad. Este nuevo entorno le brindaría a los futuros habitantes del sector Mamera – El Junquito un espacio en donde desarrollar actividades recreativas, como ciclismo de montaña, trail running, excursionismo, escalada, senderismo, etc. Para ello, también sería necesario acondicionar la zona con caminerías, señalizaciones y campamentos, los cuales pueden ser contruidos utilizando la misma madera de la acacia sembrada años antes al cierre de mina.

Los trabajadores y trabajadoras de la cantera, así como los miembros de la comunidad Mamera - El Junquito, deben ser invitados a participar en las labores de reforestación del área de estudio. Esto contribuirá a fomentar la concientización en materia de preservación ambiental en la comunidad, sería una fuente constante y diversa de empleos y aplacaría las posibles dudas que puedan presentarse con respecto al eventual cambio de uso del territorio.

Un bosque de Acacias Mangium representaría un nuevo ecosistema para la fauna local, por lo cual sería necesario estudiar su incidencia sobre este aspecto. Sin embargo, tomando en cuenta las características propias de esta planta, expuestas en el Anexo 3, así como la experiencia de otras zonas tropicales reforestadas con esta acacia, tal y como se evidencia en las memorias del Primer Simposio Caribeño de Acacia Mangium (2014), se estima que el efecto sobre la fauna sería positivo, es decir, serviría como refugio y fuente de alimentos.

A pesar de que la intención principal de este planteamiento sería convertir el área intervenida en un lugar de recreación y sano esparcimiento para la comunidad, vale la pena señalar que la madera de la Acacia Mangium posee características óptimas para ser aprovechada a nivel industrial, especialmente en la fabricación de muebles, y revestimientos lo cual representaría un importante recurso que puede ser explotado de manera racional en beneficio de la comunidad, por lo cual, esta opción también podría ser considerada.

Con respecto a la laguna presente en el frente de extracción Mina 1, ésta luego de ser debidamente saneada puede constituir un lugar con un alto atractivo recreacional. Debido a que en el yacimiento no se han encontrado metales pesados ni se considera probable que éstos aparezcan en un futuro, teniendo en cuenta la geología local, es muy probable que el agua de esta laguna presente condiciones adecuadas para que en ella se puedan desarrollarse actividades de pesca y deportes acuáticos.

CONCLUSIONES

Conclusiones relativas al análisis de los impactos ambientales generados por la operación minera de “Canteras del Distrito Capital”:

- La evaluación de los impactos tiene un carácter semicuantitativo, ya que se empleó una metodología que tipifica cada una de las variables asociadas a cada impacto y les asigna un valor numérico para determinar su grado de complejidad.
- Se evaluaron un total de 12 impactos ambientales y 3 riesgos asociados a la explotación mineral, demostrando para cada uno de ellos la forma en la que afectan de manera directa o indirecta los distintos componentes del ambiente.
- Se reconocen los siguientes impactos como los más significativos: Erosión del suelo por cambios en la topografía, Transformación del entorno físico original y Dimensionamiento inadecuado de los taludes.
- Dentro de las razones principales por las cuales las aguas de escorrentía transportan una gran cantidad de sedimentos, se pueden apreciar: El descenso en el contenido de materia orgánica del suelo y la energía cinética que adquiere el agua debido a la presencia de taludes con alturas superiores a los 30 m y ángulos de inclinación de hasta 70°.

Con respecto al plan de medidas para hacer frente a los impactos ambientales estudiados, se concluye:

- Se desarrollaron una serie de programas orientados a prevenir, mitigar o corregir los impactos ambientales y los riesgos asociados que han sido objeto de estudio. La actuación conjunta y coordinada de estos programas permitiría recuperar adecuadamente la zona de estudio.
- Estos programas contemplan la recuperación y protección de los componentes bióticos y físico-naturales del ambiente: Hidrosfera, Atmosfera y Litosfera.
- El programa de reforestación tiene como principal agente la especie vegetal *Acacia Mangu*, una leguminosa capaz de adaptarse a las condiciones climáticas de la zona y con la capacidad de promover la recuperación de los suelos mediante la fijación de nitrógeno.
- Con respecto a la desincorporación de equipos móviles y fijos, se planteó el aprovechamiento de sus componentes metálicos como materia prima en la industria siderúrgica, esto debido principalmente a la cercanía de la cantera al Complejo Siderúrgico Nacional y a la necesidad de evitar la permanencia estos elementos en

los predios de la zona de estudio, con la intención de que no se conviertan en pasivos mineros.

Conclusiones asociadas a la evaluación de aspectos geotécnicos de la roca aflorante:

- Mediante el levantamiento en campo de las características de la roca aflorante, se pudo apreciar que las discontinuidades del macizo presentan un coeficiente de rugosidad alto, lo cual aumenta la cohesión y contribuye a evitar el movimiento de las mismas en los taludes.
- Teniendo en cuenta el estado actual de los taludes, para el análisis mecánico se consideró nula la cohesión, con la intención de evaluar la estabilidad de los mismos en la condición más desfavorable.
- Debido a las dimensiones de la zona de estudio, así como a las características propias de los distintos frentes de extracción, se dividió la superficie en dos zonas correspondientes a cada frente:
 - Con respecto al frente MINA 1, los ensayos geomecánicos realizados a las muestras recolectadas en esta zona arrojan un ángulo de fricción de 40° . El análisis de estabilidad de taludes sólo arroja posibilidad cinemática de falla en cuña, sin embargo el factor de seguridad de la misma fue de 6,50 por lo cual se considera mecánicamente estable. La clasificación SMR cataloga la roca como “normal” y “parcialmente estable”.
 - Para el frente MINA 2 se estudiaron 2 subzonas, los ensayos geomecánicos realizados a las muestras recolectadas arrojan un ángulo de fricción de 33° . El análisis de estabilidad de taludes sólo arroja posibilidad cinemática de falla plana, con un factor de seguridad de 0,23 y 0,31 respectivamente a cada subzona estudiada, por lo cual ambas se consideran mecánicamente inestables. La clasificación SMR cataloga la roca como “mala” e “inestable”.
- MINA 1 posee una estabilidad geomecánica superior con respecto a MINA 2, a pesar de que ambos frentes comparten el mismo yacimiento. Esto debido principalmente a que la extracción de material llegó a mayor profundidad en MINA 1, por lo tanto la roca presente en este frente posee a un grado de fracturamiento menor, debido a que no fue sometida con la misma intensidad a los esfuerzos tensionantes a los que se enfrentó la roca en las capas más superficiales, en las cuales el frente MINA 2 se encuentra aún.
- Debido a que los buzamientos de las discontinuidades poseen una inclinación alta, las fallas planas que se forman en los taludes son delgadas y, por esta razón, los bloques tienden más a fracturarse y caer, en lugar de deslizarse.

Conclusiones generales del cierre de minas y la planificación a largo plazo

- Se discutieron las medidas a tomar ante un eventual cierre temporal de la cantera, el cual se considera poco probable debido a las condiciones propias de la explotación y sus perspectivas a futuro.
- Se propuso un cierre progresivo de para la cantera, el cual considera los programas de recuperación y remediación ambiental planteados en la presente investigación, como instrumento de planificación a ser implementado durante la vida útil de la explotación.
- Se planteó la reconfiguración de los taludes, con una altura de 12 m y una pendiente de 60°. Esta medida contribuye a minimizar la energía cinética adquirida por las aguas de escorrentía, a la vez que va de la mano con los parámetros legales y técnicos que rigen la explotación minera. La necesidad de ejecutar esta reconfiguración se evidencia especialmente en los valores de SMR obtenidos en MINA 2, los cuales son bajos y por tanto se aconseja un tratamiento correctivo del talud.
- Se propuso un cambio de uso del territorio orientado a la conformación de un bosque de Acacia Mangium, el cual serviría de centro recreativo y socio-productivo para los futuros habitantes de la zona. La elección de esta opción va de la mano con la planificación territorial que adelanta la alcaldía de Caracas para la región en donde se encuentra la zona de estudio.

RECOMENDACIONES

- De ser posible, se debe realizar anualmente un estudio de impacto ambiental o, en su defecto, un informe mensual de afectación de recursos ambientales, los cuales deben considerar los impactos estudiados en la presente investigación, además de integrar aquellos que sean eventualmente oportunos de evaluar, especialmente los relacionados al componente social. De esta forma se pueda analizar el avance de la cantera en materia de conservación y recuperación ambiental.
- Se aconseja llevar a cabo un análisis químico del agua presente en la laguna de Mina 1, para corroborar si existe o no drenaje ácido producto de la oxidación de metales pesados o de sulfuros como la pirita, la cual, aunque de manera poco significativa, si se encuentra presente en la zona de estudio.
- Se debe evaluar la adquisición de herramientas tecnológicas que permitan estudiar más adecuadamente los impactos ambientales, como un pluviómetro, un anemómetro y un sonómetro por ejemplo, para determinar la adecuada dimensión de los drenajes, la dirección del particulado atmosférico y el ruido ambiental respectivamente.
- Se deben integrar al plan de explotación de la cantera los programas de recuperación y remediación ambiental propuestos en esta investigación. Los cuales, deben estar sujetos a revisión y modificación, de ser necesaria, para adecuarse a los posibles escenarios variantes en el tiempo que dure la explotación mineral.
- De aplicarse la conformación de un bosque de Acacia Mangium, sería apropiado desarrollar un programa de concientización social sobre incendios forestales, ya que esta es una especie vegetal muy susceptible al fuego.
- A pesar de que la Acacia Mangium puede ser adquirida en el mercado nacional, debe ser evaluada la habilitación de un vivero en el que se reproduzca esta y otras especies contempladas en el plan de reforestación, con la intención de disminuir los costos asociados a la compra de la planta y de tener disponibilidad inmediata de la misma cuando se necesite.
- Se recomienda lograr una alianza estratégica con empresas recicladoras de materias primas, como VENRECICLA y el Complejo Siderúrgico Nacional, para solucionar a través de ellos la problemática de maquinarias móviles o fijas desincorporadas.
- Se sugiere la actualización periódica del estudio de estabilidad geotécnica, con el fin de adecuarse a los parámetros de la roca aflorante a medida que se avanza en la extracción de los frentes de explotación. Además de esto, sería prudente incluir ensayos de corte directo y triaxiales, para tener una mejor estimación de las características del macizo rocoso.

- Se debe realizar la reconfiguración de los taludes planteada en esta investigación. Se sugiere realizarla de manera descendente, desde la cota 1300, para así solucionar más prontamente el problema de los taludes de más de 30 m de altura presentes a partir del nivel 7 del frente de extracción Mina 2.
- Se propone cubrir con mallas o redes metálicas los taludes finales de mina, de esta forma se pretende contrarrestar el desprendimiento de bloques de roca, al mismo tiempo que se estabilizan dichos taludes.
- A medida que las labores de extracción se acerquen a la zona sur de la cantera, se debe considerar de manera más significativa la posible proyección de rocas a la carretera Mamera – El Junquito. La planificación de las voladuras debe tener en cuenta este criterio a lo largo de la vida útil de la explotación mineral.

BIBLIOGRAFÍA

Armas, R. (2006): *Planificación*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://http://www.monografias.com/>. [Consultado el 20 de mayo de 2017].

Attewell ,P, y Farmer, I. (1976). *Principles of Engineering Geology*. Chapman and Hall. . Londres, Inglaterra.

ASTM. (1995). *D2938-95, Standar test method for unconfined compressive strength of intact rock core specimens*. American society of testing and materials.

ASTM. (2008): *D2936 – 08 - Standard Test Method for Direct Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens*. American society of testing and materials.

Blanco, Y. (2009): *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*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología Minas y Geofísica. Caracas.

Bittán, M. (2013): *Potencialidades y mitos de la minería en Venezuela*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://http://moisesbittan.com/>. [Consultado el 20 de julio de 2015].

Bieniawski, Z. T. (1973). *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*. Instituto Sudafricano de Ingeniería Civil. Sudáfrica.

Canteras Del distrito Capital (2015): *Plan de Explotación, año 2015-2016*. Caracas.

Castillo Alba. (2003). *Curso de Control de Sedimentos en Minería a Cielo Abierto*. Universidad Central de Venezuela. Instituto Tecnológico de la Facultad de Ingeniería. Caracas.

Castillejo, M. (1993). *Análisis Comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control. Parte I*. Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela, Escuela de Geología Minas y Geofísica, Caracas.

Cazal, S. (2013): *Propuesta de cierre de Cantera las Marías, Estado Miranda, como aporte al Ministerio del Poder Popular de Petróleo y Minería en las políticas mineras*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología Minas y Geofísica. Caracas.

Consejo Internacional de Minería y Metales. (2006): *Guía de Buenas Prácticas para la minería y la biodiversidad*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.icmm.com/document/150>. [Consultado el 20 de julio de 2015]

Conesa, V. (1993): *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Segunda edición, MUNDI-PRENSA. Madrid, España.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°36.860 (Extraordinario), diciembre 30, 1999.

Dalmaso, A. (2010): *Revegetación de áreas degradadas con especies nativas*. [Documento en línea]. Disponible en: www.scielo.org.ar . [Consultado el 12 de julio de 2015].

Decreto con Rango y Fuerza de Ley de Minas. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°5382 (Extraordinario), septiembre 28, 1999.

Decreto 1.257. *Normas sobre Evaluación Ambiental en Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°35.946 (Extraordinario), abril 25, 1996.

Deer, D., y Miller, R. (1966): *Engineering classification and index properties*. [Documento en línea]. Disponible en: www.dtic.mil. [Consultado el 11 de septiembre de 2016].

Delgado, R. (2011): *Plan de Recuperación Integral del Talud lado Sur: Alternativa de Mitigación Ambiental en la cantera El Melero, estado Miranda*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología Minas y Geofísica. Caracas.

Díaz, R. (2014): *Introducción sobre el cultivo de acacia mangium* Primer Simposio Caribeño sobre Acacia Mangium. República Dominicana. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/>. [Consultado el 01 de mayo de 2017].

Dorronsoro, C. (2017): *Introducción a la Edafología*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.edafologia.net>. [Consultado el 12 de mayo de 2017].

ESAN (2016): *El planeamiento estratégico minero*. [Documento en línea]. Disponible en: www.esan.edu.pe/. [Consultado el 19 de mayo de 2017].

Fernández, E. (2009): *Minería sustentable en Venezuela. ¿Sueño o Realidad?* [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.diarioelprogreso.com/>. [Consultado el 01 de junio de 2015].

Ferrari, A. y Wall, L. (2004): *Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www2.agro.unlp.edu.ar/>. [Consultado el 07 de mayo de 2017].

Fundacaracas. (2016): *Alí Primera planifica la Ciudad Comunal Ecosocialista*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.fundacaracas.gob.ve..> [Consultado el 27 de mayo de 2016].

Gómez, D. (1999): *Evaluación de Impacto Ambiental*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www3.uah.es/>. [Consultado el 27 de mayo de 2016].

Gonzalez de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002): *Ingeniería Geológica*. Pretince Hall. Madrid, España.

Hoek, E., y Brown, E. (1980). *Underground excavations in. London*. Chapman & Hall Instituto Minero y Metalúrgico. Londres, Inglaterra.

Jaramillo, D. (2002): *Introducción a la Ciencia del Suelo*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co> [Consultado el 16 de marzo de 2016].

Lemus, M. y Navarro, G. (2003): *Manual para el desarrollo de obras de conservación del suelo*. Corporación Forestal Nacional. San Fernando-Chile.

Ley Orgánica del Ambiente (LOA). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N°5.833 (Extraordinario), diciembre 22, 2006.

Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N°5.820 (Extraordinario), septiembre 1, 2006.

Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N°5.554 (Extraordinaria), noviembre 13, 2001.

Ley Sobre el Régimen, Administración y Aprovechamiento de Minerales No Metálicos del Distrito Capital. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.868, febrero 22, 2012.

Lutz, W.; Sanderson, W.; Scherbov, S. (2001). "*The end of world population growth.*" [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.nature.com/>. [Consultado el 01 de junio de 2015].

Ministerio de Energía y Minas de Perú. (2002): *Guía para elaboración y revisión de planes de cierre de minas*. Perú.

Norma COVENIN 1565:1995 "Ruido Ocupacional. Programa de Conservación Auditiva. Niveles Permisibles y Criterios de Evaluación"

Oblasser, A. y Chaparro, E. (2008): *Estudio comparativo de la gestión de pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos*. [Documento en línea]. Disponible en: <https://books.google.co.ve/>. [Consultado el 015 de abril de 2016].

Palmström, A. (2001). *Measurment and characterization of rock mass jointing*. Eds Sharma and Saxena, Noruega.

Parlamento Europeo (2016), *Reglamento (UE) 2016/1628 Sobre sobre los requisitos relativos a los límites de emisiones de gases y partículas contaminantes y a la homologación de tipo para los motores de combustión interna que se instalen en las máquinas móviles no de carretera*. [Documento en línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/>. [Consultado el 01 de junio de 2016].

Rasidah W. y otros (1998): *Field grown acacia mangium: how intensive is root growth?* [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.jstor.org/> /. [Consultado el 01 de mayo de 2017].

Richards, J. (2002): *Desarrollo Sustentable y la Industria Minera* [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.cec.uchile.cl/>. [Consultado el 01 de junio de 2015].

Rivera, E. (2011): *Valoración del impacto ambiental generado por la explotación minera en los depósitos de arenas volcánica*. Minera [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/>. [Consultado el 11 de junio de 2016].

Rioja, A. (2002). *Apuntes de Fitotecnica General, E.U.I.T.A.* Segunda edición. Ciudad Real - España.

Rodríguez, R. (2004). *Manual Evaluación de Impacto Ambiental*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.bio-nica.info/> /. [Consultado el 01 de junio de 2016].

Romana, M. (1993). *Métodos de corrección de taludes según la clasificación geomecánica SMR*. III Simposio nacional sobre taludes y laderas, España.

Salazar, Y. y Montero, J. (2014): *La planificación del cierre de minas como parte de la sustentabilidad en la minería*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.eumed.net/>. [Consultado el 01 de junio de 2015].

Salinas, P. (2004): *Desarrollo Sustentable y Salud*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/>. [Consultado el 01 de junio de 2015].

Society for Ecological Restoration Internacional Science & Policy Working Group. (2004): *The SER Internacional Primer on Ecological Restoration*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.ser.org> .[Consultado el 9 de junio de 2015].

Somenson, M. y otros (2014): *Planificación para la Restauración Ambiental de Canteras Viales en Desuso. Guía Metodológica*. [Documento en línea]. Disponible en: www.vialidad.gov.ar. [Consultado el 19 de junio de 2016].

Villasmil, M. y Vielma, J. (2010): *Planificación del cierre de mina: Importancia y propuesta para su aplicación en Venezuela*. Pasantías. I.U.T.E. Mérida.

Zambrano, J. (2014): *Propuesta de cierre progresivo e integral de una cantera de áridos de construcción: caso Arenera O'toxo C.A., municipio Los Salias, Estado Miranda*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología Minas y Geofísica. Caracas

Zaror, C. (2002). *Introducción a la Ingeniería Ambiental para la Industria de Procesos*. 2da edición. Editorial Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

ANEXOS

