

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**Preservación del patrimonio cultural existente en El Picacho en  
el proceso de evaluación de yacimiento mineral no metálico,  
sector Los Cogollos, municipio Nirgua, estado Yaracuy.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Soubllette García Ángel Miguel  
Para optar al título de Ingeniero de Minas

Caracas, 2013

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **Preservación del patrimonio cultural existente en El Picacho en el proceso de evaluación de yacimiento mineral no metálico, sector Los Cogollos, municipio Nirgua, estado Yaracuy.**

TUTORA ACADÉMICA: Profa Alba Castillo

CO-TUTOR: Prof. Omar Márquez

TUTOR INDUSTRIAL: Geoquímico Juan Pablo Altuve

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Soubllette García Ángel Miguel  
Para optar al título de Ingeniero de Minas

Caracas, 2013

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 2013.

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 *Br. Soubllette García, Ángel Miguel*, titulado:

**“Preservación del patrimonio cultural existente en El Picacho en el proceso de evaluación de yacimiento mineral no metálico, sector Los Cogollos, municipio Nirgua, estado Yaracuy”**

Consideramos que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudioconducente al título de *Ingeniero de Minas*, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

---

Jurado (a)

---

Jurado (a)

---

Tutora Académica

## **DEDICATORIA**

A mi familia; a mis Padres: Maritza y Miguel.

A mis Hermanos: Eleazar y Gabriel.

A mis Hermanas: Francis, Francia y Mariangel.

A mis Sobrinos y Sobrinas.

Ángel Soubllette

## AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso por darme la fuerza, la alegría de vivir cada día y la oportunidad de ser mejor.

A mi familia, Madre, Padre, Hermanos y Hermanas por ser la espina dorsal que mantiene en pie todas mis metas, sueños y objetivos. ¡Gracias!

A la Universidad Central de Venezuela por permitirme ser parte de su historia, por abrirme las puertas de la educación y desarrollo en mi vida.

A la profesora, compañera y amiga Alba Castillo por ser mi tutora, por su asesoría, sus enseñanzas, paciencia, entusiasmo y el seguimiento constante en el presente trabajo.

A INGEOMIN, al presidente de esta importante institución Avilio Lavarca que me brindó un gran apoyo durante la investigación.

Al coordinador regional INGEOMIN Yaracuy y tutor industrial Juan Pablo Altuve, al igual que su equipo de trabajo; Juan González, Marlenes Rodríguez, José Guerra, y Yoxela Corniel que prestaron un valioso apoyo en campo.

A la Alcaldía del municipio Nirgua, especialmente al Alcalde Ricardo Capella y a la Ingeniera Yoliner Pinto por su amable hospitalidad durante nuestra estancia en la ciudad.

Al Departamento de minas en especial al profesor Omar Márquez mi Co-tutor académico, a la profesora Katherine Silva por los consejos y ayuda brindada, y demás profesores que formaron y forman parte importante en el camino de la educación universitaria.

Al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), en especial al Prof. Cesar Peñuela por la colaboración en la realización de los ensayos.

Al profesor Miguel Castillejo por su asesoría y colaboración.

Agradezco de manera especial a mis amigas y hermanas Yuribay Rosario y Yuleidy Herrera, quienes me apoyaron incondicionalmente durante la etapa universitaria, por su confianza y entrega. ¡Las Quiero!

A mis compañeros y amigos del Departamento de Minas; Johan, José, Carlos, Vicente. A los Morochos (Elías y Eduardo), Dulce Barrera, Luis Cabrera, Zulyn González y a todos aquellos que me acompañaron durante esta etapa de mi vida.

## *Soublette García Ángel Miguel*

### **Preservación del patrimonio cultural existente en El Picacho en el proceso de evaluación de yacimiento mineral no metálico, sector Los Cogollos, municipio Nirgua, estado Yaracuy**

Tutora Académica: Profa. Alba Castillo. Co-Tutor: Prof. Omar Márquez.

Tutor Industrial: Geoquímico Juan Pablo Altuve

Tesis. Ciudad Universitaria, U.C.V. Facultad de ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2012, 113 páginas.

**Palabras claves:** El Picacho, estado Yaracuy, rocas, análisis, patrimonio cultural, petroglifos, pueblos originarios.

**Resumen:** Las autoridades de la Alcaldía de Nirgua han venido considerando la posibilidad de reactivación de la antigua cantera Las Catas, sector Los Cogollos, municipio Nirgua, por la necesidad de disponer de material de balasto para el proyecto ferroviario hacia occidente.

Dentro del proceso de evaluación del yacimiento mineral, se realizó el reconocimiento en campo, que consistió en tres (3) visitas al sitio, que permitió la descripción directa del macizo, la medición de coordenadas geográficas, levantamiento fotográfico y la toma de muestras para la realización de ensayos de laboratorio, así como la ubicación y descripción de petroglifos existentes en el sector. Todo esto con el apoyo de personal geocientífico del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) y personal de la Alcaldía de Nirgua.

En la fase de ensayos de laboratorio, los 80 Kg de muestras fueron divididos según los requerimientos de las normas específicas en los laboratorios de Mineralogía y Petrología, y Mecánica de Rocas, ambos en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, y en el laboratorio de Agregados y Concreto Armado, en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, todos de la Facultad de Ingeniería, UCV. Los ensayos realizados consistieron en: Fluorescencia de Rayos X, Análisis Petrográfico, Carga Puntual y Desgaste de Los Ángeles.

Los resultados obtenidos en laboratorio, de calidad indicativa por el limitado número de muestras ensayadas, aunque representativa de los tres (3) cambios litológicos reconocidos en campo. Los valores reportados por la Fluorescencia de Rayos X, nos indica que las muestras poseen porcentajes bajos de CaO, exceptuando la muestra del sector dos (2). El ensayo de Desgaste de los Ángeles, arrojó un porcentaje de desgaste promedio de 37,33%, clasificando al material como árido de buena calidad, más no suficiente para el uso como material de balasto porque se requieren valores de desgaste menor a 20%. Por otra parte, la resistencia a la compresión simple reportaron valores de: 76 MPa como valor medio de las tres (3) zonas, 93 MPa (valor máximo) y 56 MPa (valor mínimo), eliminando los valores con mayor dispersión con relación al valor medio.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el uso industrial con mayor potencial es como árido para construcción pero, debido a la proximidad, de tan sólo tres (3) Km, al sureste del cerro El Picacho emblemático por los petroglifos, legados por el pueblo originario Jiraharas y entre seis (6) y siete (7) kilómetros al suroeste del Fuerte San Vicente se ve cuestionado la puesta en marcha de un posible plan de extracción mineral en esta zona.

Si la extracción mineral es realizada el riesgo de afectación se incrementaría en la misma medida en que avanzan las operaciones mineras hacia el talud final de mina, en las direcciones este-oeste y principalmente al sur, desde el macizo rocoso. En consecuencia, se plantea como escenario de extracción minería a cielo abierto con técnica de voladuras con control de vibraciones.

Finalmente, se recomienda enfáticamente la evaluación de otros sectores donde tienen continuidad las rocas de la Formación Aroa-Nirgua como las que se muestran en el mapa geológico y de recursos minerales del estado Yaracuy, particularmente al norte de la antigua cantera Las Catas, en el tramo de carretera panamericana Nirgua-Chivacoa. Con esto, se conseguiría aumentar las oportunidades de encontrar rocas con calidad suficiente como material para balasto y a la vez, alejarse de la zona culturalmente emblemática de Nirgua, legada por los pueblos originarios de tierra firme.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	3
<b>GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Objetivos de la Investigación .....	4
1.2.1 Objetivo General .....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Alcance y limitaciones .....	5
1.4 Justificación.....	6
<b>CAPÍTULO II</b> .....	7
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS NATURAL Y SOCIAL CULTURAL</b> .....	7
2.1 Características física natural.....	7
2.1.1 Ubicación geográfica.....	7
2.1.2 Relieve.....	8
2.1.3 Clima .....	9
2.1.4 Hidrografía .....	10
2.1.6 Geología Regional.....	11
2.1.7 Geología Local .....	16
2.2. Características Socio-Culturales .....	19
2.2.1 Densidad y Asentamiento de Población.....	20
2.2.2 Yacimientos Arqueológicos .....	20
2.2.3 Marco jurídico .....	26
<b>CAPÍTULO III</b> .....	29
<b>BASES TEÓRICAS</b> .....	29
3.1 Desarrollo sustentable .....	29
3.1.1 Principios del desarrollo de la minería sustentable .....	30
3.2. Patrimonio cultural.....	31



3.3 Petroglifos .....	32
3.4 Estudio de rocas .....	33
3.4.1 Mecánica de roca.....	33
3.4.2 Petrografía .....	34
3.4.3 Fluorescencia de rayos X .....	34
3.4.4 Ensayo de carga puntual.....	35
3.6.3 Desgaste de los Ángeles .....	36
3.7 Evaluación de yacimiento .....	38
3.7.2 Métodos de cálculo de reserva .....	38
3.8 Planificación minera.....	39
3.8.1 Diseño geométrico de mina.....	40
3.8.3 Perforación y voladura .....	42
3.8.4 Operaciones mineras .....	55
3.8.5 Tratamiento mineral .....	57
3.8.6 Planificación de cierre de mina .....	59
3.8.7 Impacto ambiental en minería .....	61
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>65</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>65</b>
4.1 Tipo de investigación .....	65
4.2 Diseño de la investigación .....	65
4.3 Población y muestra .....	66
4.4 Recolección de datos.....	66
4.4.1 Instrumentos .....	66
4.4.2 Procedimiento.....	69
4.4.2.4 Etapa de oficina.....	75
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>77</b>
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	<b>77</b>
5.1 Reconocimiento en campo .....	77
5.2 Ensayos de laboratorio .....	82
5.2.1 Análisis petrográficos.....	82

5.2.2 Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	86
5.2.3 Ensayo de carga puntual.....	86
5.2.4 Desgaste de los Ángeles.....	88
5.3 Valor de uso del material .....	89
5.4 Cálculo de recursos probables.....	89
5.5 Exploración geológica de detalle .....	90
5.5.1 Programa evaluador de recursos minerales mediante perforaciones .....	92
5.6 Escenario de diseño geométrico de mina preservando el legado cultural.....	93
5.6.1 Sistema de planificación minera .....	94
5.6.2 Método de explotación.....	94
5.6.3 Producción.....	95
5.6.4 Perforación y voladura .....	97
5.6.4.1 Parámetros de diseño.....	98
5.6.5 Equipos de carga y acarreo de mineral.....	103
5.6.6 Tratamiento mineral .....	106
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>108</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>110</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>111</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ubicación relativa del estado Yaracuy.....	7
Figura 2.2. Vista del cerro El Picacho .....	9
Figura 2.3. Vista del rio Buria o Nirgua.....	10
Figura 2.4. Vista de La Represa Cabuy .....	10
Figura 2.5. Vegetaciones más comunes .....	11
Figura 2.6. Mapa con Recursos Minerales del Estado Yaracuy.....	17
Figura 2.7. Vista del afloramiento de Calizas, Sector Los Cogollos, Nirgua.....	19
Figura 2.8. Petroglifos en el municipio Nirgua .....	22
Figura 2.9. Petroglifos del cerro "El Picacho" .....	23
Figura 2.10. Diversidad étnica en el norte de Suramérica. Tomado de Historia Para Todos (1998) .....	24
Figura 2.11. Fuerte San Vicente .....	25
Figura 2.12. Foto Ruinas del Fuerte San Vicente.....	25
Figura 3.1. Corrección del índice Is (50).....	36
Figura 3.2. a) Máquina Los Ángeles TiniosOLsen. b) Carga abrasiva .....	37
Figura 3.3. Explotación de cantera de áridos.....	41
Figura 3.4. Esquema de una voladura tipo .....	43
Figura 3.5. Distribución de explosivos en barrenos .....	46
Figura 3.6. Trenes de ondas de las tres componentes del movimiento vibratorio.....	51
Figura 3.7. Criterio de selección de estudio requerido por la norma ISO .....	55
Figura 3.8. Proceso de explotación en Canteras.....	56
Figura 3.10. a) Esquema de una trituradora de mandíbula simple efecto b) corte esquemático de una trituradora de mandíbula simple efecto.....	58
Figura 4.1 Etapas de la Investigación.....	65
Figura 4.2. a) Tamiz N° 12, abertura de 1680 micrones. b) Balanza Toledo con capacidad de 50 Kg. c) Trituradora Primaria, Mine Smelter 4x6, Modelo C.979 .....	68
Figura 4.3. a) Cortadora de escritorio Petrocut. b) Desbastadora cortadora Petro-Thin .....	68
Figura 4.4 Metodología de actividades a realizar.....	69

Figura 4.5. A- Equipos de arranque de muestras. B- Bloque de roca cortado del afloramiento y bolsa plástica de resguardo. C- Arranque de muestra .....	71
Figura 4.6. Muestras seleccionadas para la realización de secciones finas .....	71
Figura 4.7. a) Microscopio de luz polarizada Kyowa, BIO-POL2. b) análisis petrológico de las secciones finas .....	72
Figura 4.8. Muestras seleccionadas para la realización del ensayo de carga puntual ....	73
Figura 4.9. Ensayo de carga puntual.....	73
Figura 4.10. Ensayo de Desgaste Los Ángeles.....	74
Figura 4.11. A) Trituración de la muestra; C) Tamizadora GilsonScreen, T469, modelo TM1; C) Muestra cernida; D) Máquina Los Ángeles, TiniosOlsen, N° 46452 .....	75
Figura 5.1. Vista del sector uno (1) .....	78
Figura 5.2. Vista del sector dos (2).....	79
Figura 5.3 Vista del sector tres (3) .....	79
Figura 5.4. Ubicación geográfica de petroglifos en el municipio Nirgua, estado .....	81
Figura 5.5. Vista general de la sección fina P1-S1, se observa la presencia de calcita, moscovita, cuarzo y ortosa. ....	83
Figura 5.6. Cristal de anfíbol en la sesión fina P1-S1, se observa el clivaje característico del mineral .....	83
Figura 5.7. Vista general de la sección fina P2-S2, se observa la presencia de calcita, moscovita, cuarzo y ortosa .....	84
Figura 5.8. Calcita maclada. Fotomicrografías NC .....	84
Figura 5.9. Vista general de la sección fina P3-S3, se observa la esquistosidad.....	85
Figura 5.10. Vista de epidoto de la sección fina P3-S3.....	85
Figura 5.11. Vista de clorita de la sección fina P3-S3.....	85
Figura 5.12. A la izquierda la vista de cristales de calcita maclada y a la derecha mineral ortosa (P3-S3) Fotomicrografías NC.....	86
Figura 5.13. Resistencia a la compresión simple medida en las muestras del sector uno (1), sector dos (2) y sector tres (3).....	88
Figura 5.14. Vista relativa del afloramiento de calizas. Hojas cartográficas a escala 1:25.000 del I.G.V.S.B del año 1994; 6446-I- SE.....	90
Figura 5.15. 1- Configuración de mina; ángulo de talud, bancos y berma (izquierda) 2-Ancho mínimo de operación (derecha) .....	95

Figura 5.16. 1- Configuración de una pista de doble vía (arriba). 2- Rampas y vías de accesos en una Cantera (abajo).....	96
Figura 5.17. Clasificación de rocas según su excavabilidad .....	97
Figura 5.18. Equipos de carga (cargador frontal Caterpillar) y acarreo (camión Caterpillar) .....	104
Figura 5.19. Cargador frontal, CAT 994 .....	105
Figura 5.20. Tractor modelo D10T (izquierda). Motoniveladora (derecha) .....	105
Figura 5.21. Circuito general del proceso de preparación mecánica de una cantera de caliza.....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Coordenadas UTM del área de estudio .....	8
Tabla 3.1 Relación del diámetro del barreno y la producción horaria .....	44
Tabla 3.2 Variable de diseño según el retiro (B).....	45
Tabla 5.1. Ensayos realizados.....	82
Tabla 5.2. Análisis químicos por fluorescencia de rayos X .....	86
Tabla 5.3. Resultados del ensayo de carga puntual (Sector 1) .....	87
Tabla 5.4. Resultados del ensayo de carga puntual (Sector 2) .....	87
Tabla 5.5. Resultados del ensayo de carga puntual (Sector 3) .....	87
Tabla 5.6. Resultados del ensayo de desgaste de los Ángeles.....	89
Tabla 5.7. Programa de actividades a realizar en exploración geológica de detalle .....	92
Tabla 5.8 Parámetros de diseño de la voladura .....	102
Tabla 5.9 Equipo de carga según la altura de banco vs diámetro del barreno.....	105

## INTRODUCCIÓN

La investigación surge por la necesidad de realizar la evaluación de las calizas metamórfica existentes en Los Cogollos, municipio Nirgua, estado Yaracuy, a fines de determinar mediante observaciones de campo y ensayos de laboratorio, las propiedades físicas, químicas, mineralógicas y georesistencia del macizo rocoso que permitan establecer el mejor uso industrial que se le puede dar al material. La evaluación del yacimiento mineral con los distintos parámetros fisicoquímicos, resistentes y ambientales contiene factores importantes a considerar para establecer dicha utilidad, al mismo tiempo, inferir el volumen del material aflorante.

Los recursos inferidos corresponden a un volumen de roca que cumple parcialmente los requisitos de certeza geológica y de viabilidad técnica, económica y ambiental de la extracción mineral. En el caso de este estudio se alcanza a clasificar en recursos inferidos y no reserva mineral porque este último volumen requiere la clasificación con un plan de muestreo mediante perforaciones para recuperar núcleos de roca en profundidad.

Una vez que se determinan las características petrológicas y resistente de las rocas, se determina el mejor el uso industrial que se le puede dar al material, bien sea como insumo de la industria de cemento, balasto de vía férrea o como árido para la construcción. Conociendo el volumen de material apto es posible plantear alternativas geométricas de extracción (método de explotación), trazados de vías del ciclo minero y la planificación de la producción mineral en el desarrollo a futuro de una posible cantera. La actividad minera se debe ejecutar en armonía con el medio ambiente, mitigando el impacto ambiental generado y garantizando la preservación de los recursos patrimoniales de la región, con una visión de previsión y prevención.

El cerro El Picacho es una zona aledaña a la ocurrencia del yacimiento de caliza, el mismo presenta un legado cultural significativo, la presencia de petroglifos constituye un factor de gran consideración en la elaboración del posible plan de extracción mineral. Se deben tomar en cuenta los factores necesarios que permitan resguardar la integridad y preservación del legado cultural a lo largo del tiempo.

El presente trabajo de investigación consta de cinco (5) capítulos, donde se contemplan: las generalidades de la investigación (capítulo I) planteando los objetivos, planteamiento del problema y la justificación; (capítulo II) las características físicas y naturales de la zona de estudio; (capítulo III) las bases teóricas que incluyen los términos y definiciones que permiten una mejor comprensión del proyecto; (capítulo IV) marco metodológico que describen a detalle los procedimientos utilizados en la búsqueda de las soluciones a la problemática planteada; así mismo, el capítulo V contiene una sección de resultados y análisis que busca plasmar de forma precisa la resolución del problema. Finalmente se tiene una sección de conclusiones y recomendaciones finales, con la clasificación de posibles usos, el volumen de recursos inferidos y un plan tentativo de extracción mineral.



# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Planteamiento del Problema

La actividad minera requiere ser realizada desde la perspectiva del desarrollo sustentable y sostenible toda vez que la minería es más que la extracción selectiva de los minerales que se encuentran en la corteza terrestre, porque incluyen numerosos aspectos sociales, económicos y ambientales que influyen de manera directa en las operaciones mineras. Las operadoras mineras buscan suplir el mercado nacional y/o internacional de materia prima para la elaboración de bienes y servicios que satisfagan las necesidades de la población. Sin embargo, las operadoras a su vez deben crear confianza social a la comunidad donde éstas actúan por medio de la conservación de los yacimientos, estableciendo de manera correcta la tasa de producción para lograr mejor recuperación de las reservas minerales, minimizando el impacto ambiental, reduciendo la contaminación hídrica y atmosférica al igual que la degradación del suelo entre otras cosas.

En el municipio Nirgua, estado Yaracuy, específicamente en el Troncal 11, vía a la antigua cantera Las Catas, sector Los Cogollos, se encuentra una potente concentración de calizas, que en algunos puntos posee un alto grado de alteración llegando a clasificar como mármol. Se desea evaluar este yacimiento mineral, calculando el volumen de recurso inferidos y por medio de ensayos de laboratorio establecer las propiedades químicas, mineralógicas y de mecánica de roca para determinar el mejor uso industrial que se le puede dar a dicho material, evaluando entre las posibilidades como agregado de construcción, la industria del cemento o para balasto de vía férrea que aunado a la alta demanda que actualmente existe en el país de este material, particularmente el estado Yaracuy, producto de las numerosas construcciones de obras civiles se hace necesario y oportuno evaluar dicho yacimiento mineral.

Como en muchos otros sectores de una comarca de pueblos originarios precolombinos, en el cerro El Picacho en la misma localidad de Nirgua estado Yaracuy, posee un importante legado cultural como lo son los petroglifos, que representan hechos de gran relevancia para los habitantes de esta región. El yacimiento mineral de caliza y el mencionado legado

cultural de la zona, se encuentran geográficamente muy cercano (3 Km aproximadamente) por lo que se puede aseverar que estamos inmersos dentro de una problemática de conflicto de uso del territorio, siendo de suma importancia cultural estratégica la conservación de estos yacimientos arqueológicos y si se desea ejecutar un posible plan de explotación en esta zona, el mismo, debe atender todas las necesidades de resguardo y protección que permitan preservación de la integridad física a lo largo del tiempo. Esto, sin contar con otros conocimientos de cementerios indígenas y lugares de culto aborigen en toda la gran comarca que al menos se extiende desde el oriente Yaracuyano al occidente Carabobeño, en el sistema Montañoso del Caribe.

## **1.2 Objetivos de la Investigación**

### **1.2.1 Objetivo General**

Preservar el patrimonio cultural existente en El Picacho en el proceso de evaluación del yacimiento mineral no metálico, sector Los Cogollos, municipio Nirgua, estado Yaracuy.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Recopilar información técnica documental, bibliográfica y hemerográfica de características físicas y de oportunidades en el valor de uso de minerales industriales presente en Los Cogollos, municipio Nirgua, estado Yaracuy.
- ✓ Recopilar información en campo incluyendo topográfico, catastro cultural y muestreo de rocas.
- ✓ Realizar los ensayos mecánicos, físicos y petrológico en las muestras de rocas recuperadas.
- ✓ Establecer el valor de uso del material rocoso presentes en el sector Los Cogollos.
- ✓ Aplicar análisis cualitativo y cuantitativo con métodos clásicos y geoestadísticos para recursos posibles.
- ✓ Modelar escenarios posibles de exploración geológica de detalle
- ✓ Modelar posibles escenarios de extracción mineral a partir de recursos posibles con conservación de legado cultural.

### **1.3 Alcance y limitaciones**

La investigación se orientó hacia los materiales presentes en el área de Los Cogollos, municipio Nirgua, con alto potencial industrial para ser usado como árido de construcción, balasto de vía férrea o para la industria del cemento. Para esto se evalúan la rocas caliza aflorado en dicho sector, determinando las características del macizo rocoso por medio de la geología de campo y muestreo, se establece parámetros tales como: el color, tamaño de grano, homogeneidad, presencia de alteraciones y oxidaciones, resistencia mecánica, fracturación de la roca y del macizo, foliaciones, discontinuidades de estructuras, orientaciones entre otras variables, seguidamente, se establece el valor de uso del material, con la ayuda de los parámetros determinado mediante ensayos de laboratorio.

El modelamiento de posibles escenarios de diseño geométrico de mina se establece a partir de recursos inferidos y atendiendo a la preservación de los petroglifos presentes en el cerro El Picacho como medida hacia el desarrollo de la minería sustentable. Para que dicha actividad económica se haga con la conservación ambiental sabiendo se requiere un control en el uso y gestión del territorio, teniendo presente que existe áreas protegidas esenciales para la conservación de valores ecológicos, sociales y culturales.

Una de las limitaciones más destacadas en la etapa de reconocimiento en campo, es el difícil acceso al área de estudio por carencia de transporte idóneo en áreas montañosas que permita el traslado al afloramiento de calizas en el sector Los Cogollos y hacia los petroglifos del cerro El Picacho. No se contó con tiempo suficiente y apoyo disponible para una amplia visita y descripción en campo ni para el traslado de mayor cantidad de muestras al laboratorio.

En la etapa de laboratorio, se realizó un número reducido de ensayos por no tener las condiciones adecuadas en las muestras, ya que para muchos ensayos se requieren núcleos de roca y solamente se contaba con muestras de mano. El dinero invertido limitó el alcance, por tanto, fue otro factor de gran consideración que influyó en la cantidad de ensayos realizados.

#### **1.4 Justificación**

La oferta de agregado de construcción o de materia prima para la elaboración de cemento es de gran importancia en el desarrollo de las distintas obras civiles que actualmente se llevan a cabo en el país, por lo que, es de gran relevancia la evaluación de las rocas presente en Los Cogollos, municipio Nirgua, estado Yaracuy, como posible fuente para alguna de estas actividades (u otras más), pero es necesario que se haga respetando el legado cultural en la zona. Se busca promover los efectos positivos de la actividad minera en los distintos aspectos sociales, económicos y culturales en la comunidad, a través de la conservación de las tradiciones y valores arqueológicos de la zona donde se practica o practicará la minería para lograr una distribución equitativa en el aprovechamiento de los recursos naturales.

De no ser evaluado adecuadamente el yacimiento de Los Cogollos, puede conllevar directamente a buscar otras posibles fuentes de material para la industria de la construcción nacional en otras regiones del país y si es necesario importar material, limitando y/o encareciendo construcción de las distintas obras en los lapsos de tiempo requeridos o estipulados inicialmente, incrementando los costos de inversión y el tiempo de ejecución.

La investigación reviste una gran relevancia social, debido a que la solución al problema de estudio incide en beneficio de la Nación y a la conservación del ambiente, en la búsqueda de alternativas de extracción mineral, dentro del significado del desarrollo sustentable que viabilice la esencia de la cultura geológico minera. Por lo que, esta perspectiva atiende las necesidades existentes de la población contemporánea y promueve la preservación y valorización de las zonas arqueológicas para el buen aprovechamiento de los recursos naturales. Al mismo tiempo, posee un gran valor teórico para futuros estudios realizados en la región sobre las características de las rocas existentes en el municipio Nirgua, permitiendo inferir cómo es el procedimiento a seguir en situaciones análogas en otras localidades, aportando metodología de estudios, análisis y diseño en el aprovechamiento mineral con conservación ambiental

## CAPÍTULO II

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS NATURAL Y SOCIAL CULTURAL

#### 2.1 Características física natural

En esta sección se presenta la descripción de las características físicas naturales de la zona de estudio; entre los componentes a describir se encuentran: el relieve, vegetación, hidrología, clima, recursos minerales (geología regional y local) y ubicación geográfica.

##### 2.1.1 Ubicación geográfica

El estado Yaracuy está situado en la zona centro-norte de la República Bolivariana de Venezuela, siendo sus límites, el estado Falcón por el norte; Cojedes por el sur; Carabobo por el este y Lara por el oeste como se muestra en la figura 2.1. Las principales ciudades son: San Felipe, Aroa Chivacoa, Yaritagua y Nirgua.

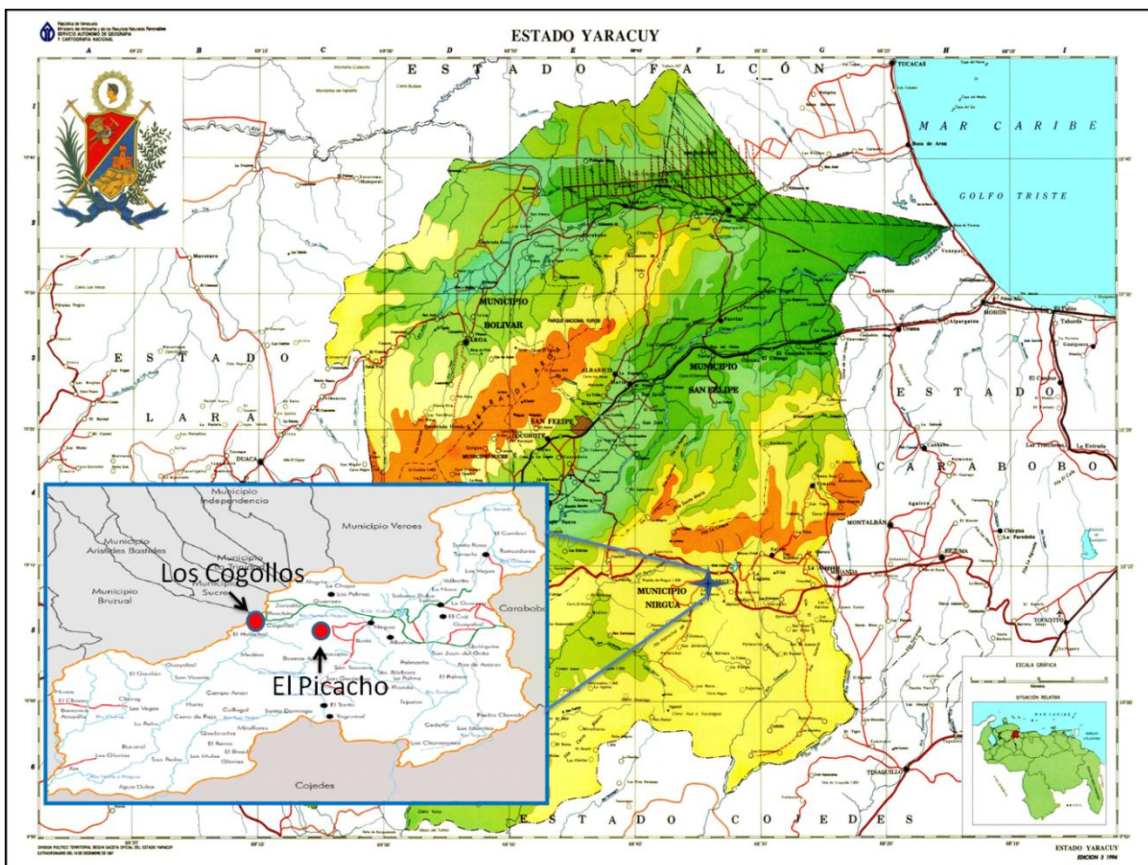


Figura 2.1. Ubicación relativa del estado Yaracuy. Adaptado Atlas de Venezuela (1998). Elaborado: fuente propia

La zona de estudio se ubica es en el municipio Nirgua, al sur-este de la ciudad de San Felipe, sobre en el Troncal 11, antigua Cantera las Catas; Sector Los Cogollos, municipio Nirgua. Coordenadas geográficas Latitud 10° 9' 2" N y longitud 68° 33' 58" O.

La tabla 2.1 muestra las coordenadas UTM que delimita el área de estudios.

Tabla 2.1 Coordenadas UTM del área de estudio

PUNTO	COORDENADAS (UTM)	
	N	E
1	1.124.464	542.666
2	1.124.470	542.644
3	1.124.431	542.653
4	1.124.461	542.606
5	1.124.466	542.259
6	1.124.486	542.610
7	1.124.488	542.628

La vía de acceso principal al afloramiento de caliza metamórfica desde el estado Carabobo es por la carretera Panamericana, hay que tomar la vía por la población de Bejuma, seguidamente la carretera Nirgua – Chivacoa, en un recorrido de 5 km aproximadamente desde el poblado de Nirgua en sentido Este, en la localidad de Socavón, sector Los Cogollos. Desde San Felipe o Barquisimeto es necesario desviarse en Chivacoa.

### 2.1.2 Relieve

La ciudad de Nirgua, al igual que las demás ciudades del estado Yaracuy es una zona de alto relieve que constituye el complejo de montañas más occidental de la cordillera de La Costa, con una altura que oscila entre 1000 y 1.400 msnm, con una superficie de 2.274 Km<sup>2</sup>. Está formado por valles de gran riqueza paisajística que comprenden el 90% aproximadamente del área del municipio, de características aluviales, ubicados al oeste de la comunidad de Nirgua, que se extiende desde el piedemonte oeste hasta el comienzo del talud originado por el río Nirgua. Otro de los valles está orientado en sentido sureste-noreste y finaliza al norte de la autopista que da acceso a la ciudad de Valencia.

Sus montañas más famosas son “El Picacho” “La Chapa” “Pelón” y “La Palmita”. Igualmente cuenta con importantes filas como: La Carabobal, Las Delicias, Araguana, Palmichal, El Cedro, Palmarito, Zapatero, La Palma, Santa Maria entre otras.

El cerro El Picacho está ubicado al lado oeste del pueblo de Nirgua con una altura de aproximadamente 1.200 m. En él se encuentran petroglifos indígenas y en la parte posterior del cerro una vía que conduce a las ruinas del fuerte San Vicente, hacia el caserío de San Mateo y otros campos de Nirgua.



Figura 2.2. Vista del cerro El Picacho.  
Fuente: IPC (2004-2006)Catálogo Venezolano

### **2.1.3 Clima**

Existen tres (3) tipos de clima en el estado Yaracuy: El clima templado en las cumbres de sus montañas; el subtropical, en los valles altos de la sierra de Nirgua y en la mayor parte del Estado, impera el clima tropical, siendo la temperatura promedio anual de 25.80°C. La precipitación promedio anual es de 1.122mm.

La temporada de lluvias se inicia a finales del mes de abril e inicio del mes de mayo, con precipitaciones superiores a 134 mm/mes, alcanzando un pico máximo de 186,20 mm/mes en el mes de agosto. A partir de este mes comienza el descenso, hasta el mes de abril con precipitaciones inferiores a 27 mm/mes. La temporada seca se inicia en el mes de diciembre y finaliza al mes de marzo e inicios del mes de abril.

#### 2.1.4 Hidrografía

El estado Yaracuy posee importantes afluentes que pertenecen a la cuenca del mar Caribe, los ríos Yaracuy y el Aroa, de trayectoria aproximada de 130 km cada uno. El río Turbio y el río Buría o Nirgua son de menor recorrido y vierten sus aguas hacia la cuenca del río Orinoco.

En el municipio Nirgua el principal sistema fluvial le corresponde al río Nirgua o Buría conjuntamente a quebradas y ríos de menor longitud como: El Riíto y El río San Pablo, río San Gerónimo, la Quebrada Piedrita Blanca, El Líbano, Amarilla, La Guaratara, La Agüita, La Molinera, La Peña, Chuponal, Agua Fría, La Guafa, Potrerito, Grande, La Juanera. También cuenta con el sistema de riego de la Represa Cabuy, construida en 1973 para solventar el problema de riego en las zonas agrícolas.



Figura 2.3. Vista del río Buria o Nirgua  
Foto tomada por Báez (2011)



Figura 2.4. Vista de La Represa Cabuy.  
Fuente: IPC (2004-2006) Catálogo Venezolano

#### 2.1.5 Vegetación

La vegetación depende del clima predominante en la zona; en toda la extensión de la región se encuentran selvas tropicales con imponentes árboles grandes como: ceibas, caobas, cedros, jabillos, samanes, etc. Hay también vegetación que rodea a los ríos de las llanuras en la zona intertropical, las llamadas selvas de galería en las márgenes de los ríos Yaracuy y Aroa. Por último, también existen especies adaptadas a la vida en un medio seco o ambientes secos, como la vegetación xerófila: los cujíes, cardones y tunas.





Figura 2.5. Arbórea más común. Fuente: Yaracuy.net (2006)

### 2.1.6 Geología Regional

El estado Yaracuy se considera que forma parte de la región occidental del Sistema Montañoso del Caribe, las características principales de este tipo de montaña es la presencia de peridotitas serpentinizadas, al mismo tiempo es una zona con gran presencia de metamorfismo regional, la actividad sísmica no es muy profunda pero posee un gran desarrollo de fallas longitudinales y una tectónica gravitacional acentuada. La tectónica presente es caracterizada por una esquistosidad bien desarrollada, paralela a la estratificación en la mayoría de los casos; un plegamiento complejo isoclinal y la abundancia de micropliegues. La falla más importante es la Falla de Boconó, que intercepta el valle del río Yaracuy uniéndose al sistema de fallas del Caribe, existe una zona de fallas al norte de los macizos metamórficos que afloran al norte del río Aroa.

➤ Formación Maporita (Mioceno-Plioceno)

Esta unidad fue descrita originalmente por Bellizzia y González Silva (1968) como una secuencia de sedimentos continentales expuesta en Yaracuy nororiental, con localidad tipo en la quebrada El Fraile y buenos afloramientos cerca del caserío Maporita, que forma una franja angosta desde El Palito, estado Carabobo, hasta cerca de Taria, estado Yaracuy, y está muy bien expuesta en ambos lados de la carretera San Felipe-Morón. Litológicamente, consiste en conglomerados mal escogidos y friables con guijarros subredondeados de rocas metamórficas, cuarzo y caliza en una matriz arcilloarenosa ferruginosa; areniscas cuarzo-micáceas de grano medio a grueso, colores verde a marrón-crema, con estratificación cruzada y lenticularidad características; lutitas y limolitas generalmente arenáceas, y frecuentes capas lenticulares de margas.

El espesor de la formación es difícil de determinar debido a su carácter lenticular y a que desaparece rápidamente hacia el norte, donde está cubierta por sedimentos cuaternarios; en los ríos Fraile, Maporita y Canoabito se estima en unos 300 m. La formación representa una acumulación típicamente continental, depositada en canales restringidos a lo largo de una zona estrecha entre la línea costera de la época y las metamórficas al sur. Puede correlacionarse con la Formación Pegón y quizás con la Formación La Sabana del Terciario Superior, expuesta en la costa norte de Venezuela central entre las poblaciones de La Sabana y Chuspa.

➤ Formación Ojo de Agua (Mioceno superior)

Consiste principalmente en areniscas micáceas intercaladas con arcillas, conglomerados y calizas arenosas nodulares y macrofósilíferas. Al sur del río Aroa afloran lutitas, areniscas, calizas y algunas capas de lignito; en el flanco surestado de la Serranía de Agua Fría hay frecuentes lutitas yesíferas y algunas capas macizas lenticulares de yeso que se explotan en la quebrada El Yeso. Se estiman unos 250 m de espesor para la unidad, que es típicamente de aguas salubres a marinas muy someras y cercanas a la costa. La formación suprayace concordante y transicionalmente a la Formación Capadare o discordantemente a las metamórficas, e infrayace sedimentos del Cuaternario. En el flanco norte de las montañas de Aroa es discordante sobre las metamórficas del Complejo de Yumare y de la Formación Aroa. Se correlaciona con formaciones expuestas en Falcón central (El Veral, La Vela, etc.) y su edad se considera Mioceno superior.

➤ Formación Capadare (Mioceno superior)

La Caliza de Capadare, expuesta en el cerro del mismo nombre en el municipio Acosta, estado Falcón, se considera que la unidad tiene amplia distribución en los valles de El Tocuyo, Aroa y Casupal y se extiende en afloramientos continuos desde la región de Chichiriviche hasta Maparíen Falcón central.

La formación consiste en calizas margosas de color crema, muchas de ellas coquinoideas, de espesor variable unos pocos y hasta 25 m; lutitas calcáreas de color crema, algunas arenáceas o limosas y ricas en contenido faunal, y escasos lentes de arenisca calcárea de grano fino. Algunas calizas son fosfáticas y otras dolomíticas. Los cambios litológicos

laterales son frecuentes; en algunas localidades la unidad está constituida por un 90% de calizas y en otras puede contener hasta 50% de lutitas y margas.

La unidad suprayace a la Formación Agua Linda o a la Formación Casupal (Terciario, Estado Falcón) y a veces descansa directamente sobre rocas ígneas y metamórficas de la región; su contacto superior con la Formación Ojo de Agua es concordante y transicional. Contiene ricas faunas micro- y macrofósilíferas que indican una edad Mioceno medio.

➤ Formación San Quintín (Cretáceo)

En el flanco sur del Macizo de San Quintín, afloran un conjunto de rocas volcánicas básicas, débilmente metamorfozadas, y una secuencia de rocas sedimentarias: metaareniscas, metalimolitas y lutitas filitas. En algunas localidades las rocas volcánicas aparentemente se intercalan a varios niveles con rocas de alto grado metamórfico del Complejo de Yumare; en otras zonas están incluidas en las rocas metasedimentarias. Esta aparente concordancia de las volcánicas con las rocas del Complejo de Yumare es de carácter tectónico.

➤ Formación Aroa (Pre-Cretáceo)

Esta formación, descrita por Bellizzia y Rodríguez (1976), es una espesa secuencia metamórfica expuesta en la Serranía de Aroa, estado Yaracuy, especialmente en el Distrito Minero Cuprífero de Aroa, a la cual se asocian piritas cupríferas. La formación toma su nombre del Distrito Minero de Aroa situado en la falda norte de la Serranía del mismo nombre. Hay excelentes secciones de referencia en las quebradas Las Minas, Cumaragua y Carampampa y el río Tupe, en los ríos Tlacha, Las Palmas, Oro y Chivacure en el flanco norte de la serranía y en los ríos Nirgua, Tirgua y Tucuraguay en la Serranía de Nirgua-Tucuragua. Los depósitos de pirita cuprífera denominados Aroa, Aroa Norte, San Antonio, Titiaira, Pozones y Cumaragua, que constituyen el Distrito Minero, se asocian con la secuencia calcárea de la unidad.

La formación es una secuencia de esquistos calcáreo grafitosos, filitas grafitosas, calizas laminadas, calizas macizas, esquistos cuarzo-micáceo-grafitosos y varios horizontes de esquistos verdes. Estos últimos, constituidos por zoisita, clinozoisita, epidoto, feldespato,

actinolita, clorita, calcita y cuarzo, se denominan localmente “roca verde” (“greenstone”) y se utilizan como capa guía tanto en la superficie, como en labores mineras por su fácil reconocimiento y su marcada diferencia de la secuencia calcareo-grafitosa predominante. Su textura varía entre foliada y macizagranular y su color entre verde pálido y verde oliva, algunas son de color gris oscuro. A veces exhiben textura porfidoblástica con porfidoblastos de albita y las inclusiones lenticulares de caliza son frecuentes. Estas rocas verdes forman horizontes de espesor variable entre pocos y cerca de 50 m. a diversos niveles estratigráficos, pero especialmente en la parte media de la formación.

Los esquistos calcáreo-grafitosos, micáceo-grafitosos y filitas grafitosas constituyen alrededor del 60% de la unidad y consisten en calcita, grafito, sericita, cuarzo, feldespato, zoisita, pirita y clorita. En la parte inferior de la formación predominan esquistos micáceos; en la superior, zona de transición a la Formación Mamey suprayacente, aparecen metaareniscas y metaconglomerados muy similares a los de esta última. Las calizas laminadas generalmente se interestratifican con los esquistos calcáreo-grafitosos. Las calizas macizas alcanzan hasta 20 m de espesor, generalmente son grafitosas, piríticas y lenticulares y consisten en calcita, grafito, sericita y pequeñas cantidades de cuarzo, zoisita, clorita, albita y pirita; algunas son dolomíticas. Por su rápida meteorización los esquistos grafitosos y calcáreo-grafitosos que predominan en la unidad restringen grandemente el área de los afloramientos que, sin embargo, se observan bien expuestos en los ríos y quebradas principales de las Serranías de Aroa y Nirgua-Tucuragua.

➤ Formación Las Brisas (mesozoico)

En Yaracuy, los afloramientos se encuentran al norte de los valles intramontanos de Bejuma-Miranda-Nirgua, a lo largo de los cuales corre la falla de La Victoria que separa al Macizo de Nirgua de la Serranía de Santa María-Urama-Puerto Cabello. La Formación Las Brisas es más gnéisica, con esquistos mejor foliados, anfíbolitas más abundantes, presencia más frecuente de granates en los esquistos cuarzo-micáceo-feldespáticos y mayor grado metamórfico. En la zona del estudio, la Formación Las Brisas consiste en esquistos cuarzo-micáceo-feldespáticos, cuarzo-micáceo-biotíticos y cuarzo-micáceo-feldespático-cloríticos, con la siguiente mineralogía: cuarzo, microclino, albita (más de 75%), muscovita, biotita, epidoto, clorita, granate y a veces grafito; localmente hay cantidades anormales de clorita y

epidoto. Los esquistos gnéisicos y gneises cuarzo-moscovítico-feldespáticos también son frecuentes y localmente, como en el río Taria, desarrollan textura de “augen”. Toda la sección contiene cuarcitas y metaconglomerados, más abundantes hacia la base; las primeras consisten en cuarzo (más de 75%), microclino, albita, muscovita, biotita y proporciones menores de epidoto, granate, calcita, grafito y pirita, y los segundos en cuarzo (más del 75%), microclino, muscovita, biotita, epidoto y grafito. Ambos afloran en capas macizas con muy poca foliación.

➤ Complejo de Yaritagua (Pre-mesozoico)

Bushman (1959, 1965) llamó Formación Yaritagua a una secuencia de gneises porfidoblásticos, esquistos cuarzo-micáceo-feldespáticos y cuarcitas expuestas en el Cerro La Cruz al sur de la población de Yaritagua, estado Lara.

La unidad constituye la base de la secuencia metamórfica en la mayor parte de los estados Yaracuy y Lara, cubierta transicionalmente por la Formación Las Brisas. El Complejo de Yumare, representado por afloramientos aislados al norte del río Aroa, constituye el verdadero “basamento” de la secuencia metamórfica de la región. Al respecto es interesante el análisis de Morgan (1969,1970) sobre el basamento en el Sistema Montañoso del Caribe:

En un terreno de secuencia litológica monótona, sin capas guías y fósiles, afloramientos limitados y metamorfismo regional de todas las rocas, la designación de cualquier unidad como basamento es dudosa, al disponerse únicamente de datos estratigráficos. El empleo del término “basamento” debe restringirse a aquellas rocas que han sufrido marcada retrogresión metamórfica, indicativa de una historia geológica más larga y compleja.

Según este criterio, al sur de la cordillera de La Costa (fajas tectónicas de Caucagua, El Tinaco y Villa de Cura), donde el metamorfismo regional corresponde a las facies del esquisto verde y esquisto azul, la mineralogía del basamento retrogrado es notablemente diferente a aquella de las rocas suprayacentes. El mismo estaría representado por el Complejo de Tinaco, cuyas facies metamórficas corresponden a la anfibolita almandínica y cuarzo-epidoto-albita-biotita (Esquisto de Tinapú); la ausencia de granate en los gneises es índice de baja presión durante el metamorfismo (Menéndez, 1965). En la parte central de la Cordillera de la Costa, pues, se reconocen dos tipos de basamento, hasta ahora no

correlacionables: el Complejo de Sebastopol al norte de la Falla de La Victoria, y el Complejo de Tinaco al sur.

➤ Complejo de Yumare (Precámbrico)

Al norte del río Aroa, en el flanco sur de la serranía El Chacal-Cerro Misión-Agua Linda, afloran los cuatro (4) macizos de Yumarito, San Quintín, La Zurda y Salsipuedes; afloramientos septentrionales extremos de las rocas ígneo-metamórficas del Sistema Montañoso del Caribe, separados por los valles de los ríos Charal y Aroa de las Serranías de Agua Fría al este, y de Aroa al sur, respectivamente.

La figura 2.6 muestra el mapa con recursos minerales del estado Yaracuy compuesto por seis (6) asociaciones litológicas, donde se destaca la unidad petrológica III, metamórficas I: Formación Aroa-Nirgua, constituida de esquistos calcáreo - grafitoso - micáceos, gneis cuarzo - feldespático - micáceo, calizas y mármoles siendo estos dos últimos rubros minerales ampliamente explotados como balasto durante lo que fue la construcción de la vía férrea Puerto Cabello – Barquisimeto, piedra picada para agregado de concreto y como base y sub-base en la construcción de carreteras. Por otro lado, la figura también señala la presencia de sulfuros metálicos de cobre, hierro, plomo y zinc; sulfuros complejos de oro y plata; minerales de titanio, de níquel, talco y esquistos cloríticos y anfibólicos, asbesto, yeso, caolín, feldespato perteneciente al resto de las unidades.

### **2.1.7 Geología Local**

Para la fase Nirgua (Complejo La Costa) Bellizzia y Rodríguez (1967) introducen este nombre a una secuencia de rocas metamórficas con predominio de rocas anfibólicas en la parte central al norte del estado Yaracuy, incluyéndola en el Grupo Los Cristales. En la zona del macizo de El Ávila definió la “Unidad de esquistos anfibólicos y anfibolitas” que es correlacionado con la Fase Nirgua, esta unidad se ubica en su Franja Costera – Margarita. Navarro *et al.* (1988) redefinen estas rocas como Fase Nirgua, formando parte de su unidad litodémica de corrimiento que denominan como Complejo La Costa, que reúne adicionalmente a las fases Antímamo y Tacagua. Este criterio fue aceptado por Urbani y Ostos (1989) y Urbani *et al.* (1989-a, b) quienes utilizan este nombre en los mapas geológicos de la zona de Puerto Cruz a Caraballeda y Oritapo a La Sabana, Distrito

Federal, y El Palito-Morón-Valencia, estado Carabobo. Las rocas eclogíticas pertenecientes a esta unidad y que afloran en la zona de El Palito-Puerto Cabello, estado Carabobo, han sido objeto de particular interés petrológico, por su importancia en la interpretación de la evolución de la Cordillera de la Costa

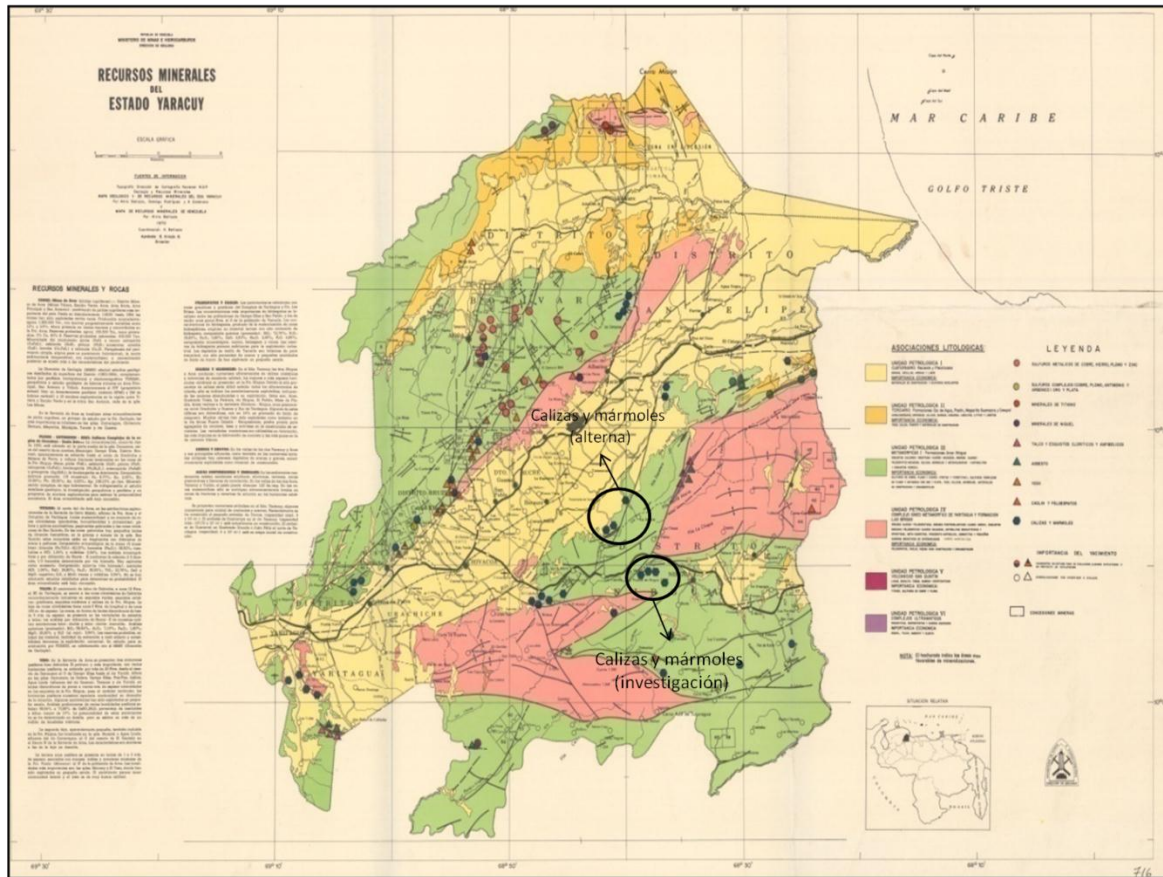


Figura 2.6. Mapa con Recursos Minerales del Estado Yaracuy. Tomado de Bellizia, eat 1986.

Las rocas carbonáticas se presentan en forma de lentes o capas bastante continuas, bien expuestas en la carretera Nirgua-Chivacoa, estado Yaracuy. El mármol masivo y recrystalizado es de color gris oscuro, con calcita (85%), muscovita (4), grafito (3) y cantidades menores de clinozoisita, zoisita, albita, pirita, prehnita, clorita y cuarzo. Algunos pequeños cuerpos de mármol dolomítico se presentan asociados a bandas de esquistos cuarzo-tremolítico, cuarzo-muscovítico-clorítico-granatífero y anfibolita. Rodríguez y Bellizzia (1968, 1976) describen cinco (5) tipos diferentes de rocas anfibólicas.

Morgan (1966, 1968, 1969, 1970, 1971) presenta una descripción detallada de las rocas eclogíticas en la zona de Taborda-Puerto Cabello, estado Carabobo. Bellizzia y Rodríguez

(1976) incluye en esta unidad a dos (2) horizontes de yeso que se encuentran en la serranía de Aroa, si bien se desconocen las relaciones con las rocas circundantes.

Aflora como una extensa franja teniendo una extensión geográfica desde la zona de Chivacoa en el estado Yaracuy, continuando hacia la zona de Morón – Puerto Cabello, estado Carabobo, prolongándose como una estrecha franja casi paralela a la costa, por el estado Aragua y culminando cerca del poblado de La Sabana en el Distrito Federal.

Los contactos que presentan son al sur de Chichiriviche, Distrito Federal, que se interpreta un contacto de falla de corrimiento con el Augengneis de Peña de Mora.

Bellizzia y Rodríguez (1968) señala la presencia de fósiles (Tintínidos o Calpionelas) de probable edad Neocomiense en las metapelitas de esta Fase en el estado Yaracuy.

Todos los autores que han estudiado La fase Nirgua la ubican como de probable edad Mesozoica y se correlaciona con las fases Antímamo y Tacagua del mismo Complejo La Costa.

Se cree que esta unidad, al igual que las fases Antímamo y Tacagua representan un “melange” tectónico, formado en un prisma de acreción, mientras y por medio de estudios geoquímicos de las anfibolitas se demuestra que existe una afinidad magmática toleítica, sugiriendo un ambiente tectónico de dorsal centro oceánica o de cuenca marginal.

La Fase Nirgua posee una gran importancia económica, en él se describen algunos depósitos de yeso de importancia comercial en la serranía de Aroa. Adicionalmente en la zona de Cocuaima-Urachiche, estado Yaracuy, existe un depósito de sulfuros de Sb-Zn-Pb-Ag que fue parcialmente explotado hasta 1969, donde se reporta minerales como piritita, arsenopiritita, esfalerita, calcopiritita, boulangerita, pirargiritita, galena y tetraedrita, pero se desconocen las reservas minerales. En el mapa geológico de Bellizzia y Rodríguez (1976) aparecen nueve (9) localidades con manifestaciones de sulfuros diversos. En los cortes de la Autopista Valencia – Puerto Cabello, en el sector del peaje de Taborda, se han localizado lentes decimétricos contentivos de cristales de cianita.



Las calizas metamórficas forman parte esencialmente de la Formación Nirgua, aun cuando la Formación Aroa posee secuencias carbonatadas que se ubican a lo largo del estado Yaracuy. Los afloramientos de importancia económica constituyen lentes en áreas sumamente deformadas, intercalados con niveles esquistosos. Son importantes los ubicados en el área de Aroa, Quebrada Triste, Sur de Nirgua, El Peñón, Mesa de Piedra y la zona piemontina entre Urachiche y Guama.. La figura 2.7 muestra algunas fotos del afloramiento de caliza, tomadas a 200 m del lado sur de la carretera Panamericana Nirgua-Chivacoa durante la visita de reconocimiento al sitio.



Figura 2.7. Vista del afloramiento de Calizas, Sector Los Cogollos, Nirgua. Fotos tomada por Báez (2011)

## 2.2. Características Socio-Culturales

Las características socioculturales de la zona de estudio constituyen un factor de gran importancia a considerar, debido entre otras cosas a la riqueza histórica que ésta posee. La idiosincrasia propia de los habitantes y de los personajes históricos de la región la hace característica y singular. El amplio legado cultural precolombino existente es una característica necesaria e importante a describir, particularmente los yacimientos arqueológicos como petroglifos y el Fuerte San Vicente.

### **2.2.1 Densidad y Asentamiento de Población**

El municipio Nirgua cuenta con una superficie de 2.274 Km<sup>2</sup>, perteneciente a la región geográfica centro occidental del país y una población estimada de 60.000 habitantes representando aproximadamente el 10% del total de la población del estado Yaracuy. Las parroquias son: Nirgua, Salom y Temerla.

La agricultura es la más importante vía de desarrollo económico, los principales renglones de producción son: los cítricos, el café, la caña de azúcar, maíz, tomate, vainitas y la cría de pollos.

Los personajes históricos y populares más famosos del municipio son: El Padre Delgado, El Negro Miguel conocido como el defensor de la Patria, los indígenas Jiraharas y el Dr. Buenaventura Arquímedes Oliveros.

### **2.2.2 Yacimientos Arqueológicos**

En esta sección se presentan los distintos lugares de interés cultural del municipio Nirgua estado Yaracuy. Entre ellos están los petroglifos del cerro El Picacho y demás localidades del municipio, el fuerte real San Vicente entre otros.

#### **Petroglifos**

El primer estudio de petroglifos hecho por el autor Venezolano Arístides Rojas, en su obra "*Estudios Indígenas. Contribuciones a la Historia Antigua de Venezuela*" aquí describe un gran número de estos grabados en piedras distribuidos por todo el territorio nacional, y aéreas de las Antillas, Colombia, Guayana y Brasil. Este autor ve a los petroglifos como mensajes que dejaron las tribus de América a futuras generaciones, donde se plasman vivencias de su vieja historia, sus mitos, leyendas y costumbres, busca darle explicación y origen de los dibujos, por ejemplo, considera que estos trabajos en piedras tiene un origen de la nación Caribe, por el uso recurrente de símbolos como el sol, la luna y la rana.

Por otra parte, una de las primeras obras sobre petroglifos en Venezuela fue realizada por el Padre Jesuita Juan Rivero en 1729, llamada "*Historia de las Misiones de los Llanos de*

*Casanare y Los Ríos Meta y Orinoco*” donde son descritos unos peñascos muy altos en la confluencia de los ríos Sinaruco y Orinoco, allí se encuentran esculpidas unas figuras.

Karl Ferdinand Appun en su obra “*Los Trópicos*”, de 1877, menciona brevemente la “Piedra del Indio” localizada en San Esteban, Puerto Cabello donde describe escrituras ideográficas. En 1883 Im Thurm realiza un trabajo en todo el área del macizo Guayanés y es el primero que presenta una clasificación sistemática de los petroglifos utilizando tres criterios principales; profundidad de la incisión, modo de ejecución y tipos de figuras representadas, Thurm estaba en desacuerdo con la opinión generalizada para la época de que los petroglifos fueron hechos como simples pasatiempos, pues la repetición de una misma figura en varias regiones indica que debió tener un significado mayor.

En 1889, Adolf Ernst en *Petroglyphenaus Venezuela* (Berlín) documenta la Piedra del Tigre localizada en la zona de la Colonia Tovar, describe las figuras, las dimensiones de las rocas, sus características litológicas y la orientación cardinal de la superficie grabada, dice que posiblemente relata la matanza de un tigre.

Para Kurt Taubner *Zur Landkartenstein- Theorie.*(Berlín, 1891) expresa que el interés del estudio de los petroglifos radica en que estas rocas pudieran ser límites territoriales prehistóricos o indicadores de sitios de reunión y grandes ejemplos de las modificaciones posteriores ocurridas en la geografía nacional.

En el estado Yaracuy se destaca la presencia de petroglifos como se muestra en la figura 2.8 uno de los principales proviene del Cerro Las Letras y su ilustración aparece en la obra de Padilla de los “*Petroglifos y Otras Expediciones Primitivas de América*”. Así mismo, en la localidad de Las Tejerías, municipio Nirgua, se encuentran petroglifos que están cubiertos en su mayoría por una capa vegetal, la que los protege parcialmente del sol y otros agentes erosivos. Por su parte, los petroglifos de la Florida, que se encuentran en la frontera entre los estados Yaracuy y Cojedes, presentan una excepcional belleza ya que existe una roca en forma rectangular de por lo menos cinco (5) metros de largo y dos (2) metros de ancho conocida como Mamá Piedra. También hay grabados que simulan plantas de pie humanos, logrados gracias a la percusión y la abrasión de la roca. Los petroglifos de Los Morritos están ubicados en la Carretera Panamericana Nirgua-Chivacoa, allí se halla

una roca que tiene forma trapezoidal y exponen dos de sus caras motivos en forma de anfibios, sin embargo este sitio no ha sido estudiado por especialistas porque no han documentado mayor información. En los petroglifos de El Líbano vía La Montaña, se encuentra una roca de gran tamaño que tiene forma de pared y sobre su superficie tiene grabado un conjunto de figuras geométricas, antropomorfas y zoomorfas, junto a unas que simulan plantas de manos humanas; su estado de conservación es regular y se encuentra en una zona intervenida por la actividad agrícola. En el sector Campo Amor existe un complejo de ocho (8) petroglifos distribuidos en tres (3) quebradas rodeadas de vegetación abundante, dos de los petroglifos se encuentran en el sector La Valereña, dos en el sector El Abasto, uno en el sector Cayetano y tres (3) en la Quebrada Las Puertas. Las figuras que más destacan son las que simulan cabezas zoomorfas con cornamentas o astas, círculos concéntricos con líneas segmentadas parecidas a rayos y figuras conocidas como patas de tigre u horadaciones circulares en torno a un círculo más grande parecido a una huella.

La comunidad organizada de Nirgua conoce cada uno de los petroglifos existentes en esta zona y los tiene registrados como bienes de interés cultural del Municipio, con el objetivo de preservar y conservar dichas figuras talladas en las rocas.



Figura 2.8. Petroglifos en el municipio Nirgua. Fuente: IPC (2004-2006) Catálogo del Patrimonio

## Petroglifos del Cerro El Picacho

Como muestra la figura 2.9 en el cerro El Picacho, municipio Nirgua algunos petroglifos en la región, en total son seis (6) piedras con figuras geométricas, rostros, círculos con puntos en el centro, círculos grandes con círculos pequeños denominados patas de tigres y otras que parecen figuras antropomorfas. Estas piedras se encuentran en los sectores Los Mochos, Pata de Tigre y Garcigonzález. La piedra de este último sector tapaba una cueva que se encuentra en la cima del cerro, siendo ésta la más intervenida y que muestra una figura en forma de laberinto. El estado de conservación varía de regular a malo, ya que la mayoría de estos petroglifos han sufrido deterioro de los motivos que los componían originalmente, por la práctica de quema en el sector. Son valorados y considerados importantes porque forman parte de los pocos vestigios que existen de las culturas originarias en la región, la figura 2.10 muestra la diversidad étnica en noreste de Suramérica, entre ellos los Jiraharas, responsables numerosos petroglifos en la zona. Estos petroglifos forman parte de la historia local, generalmente visitados por los habitantes y las instituciones educativas del Municipio.

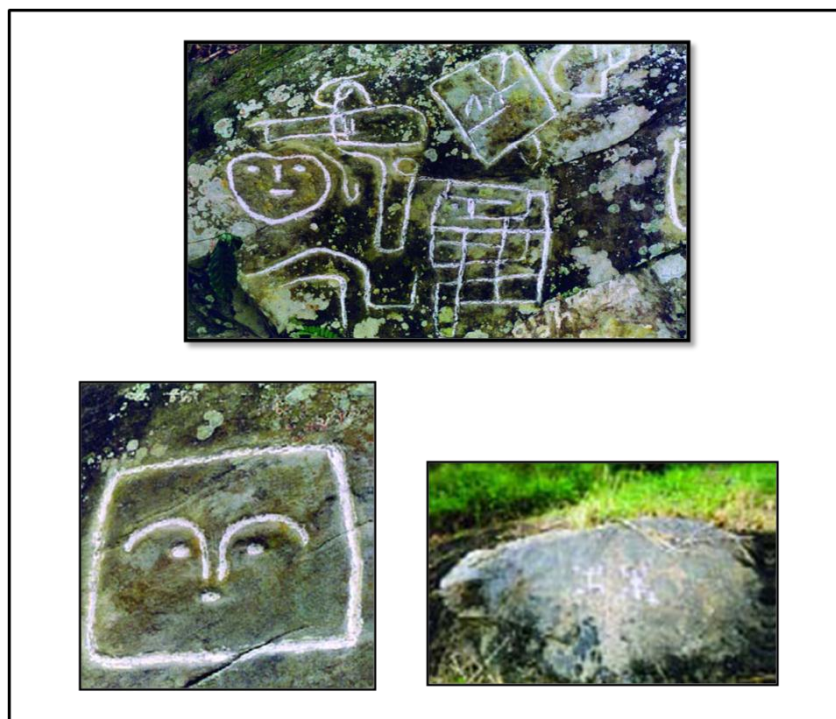


Figura 2.9. Petroglifos del cerro "El Picacho" Fuente: IPC (2004-2006) Catálogo del Patrimonio Cultural Venezolano.



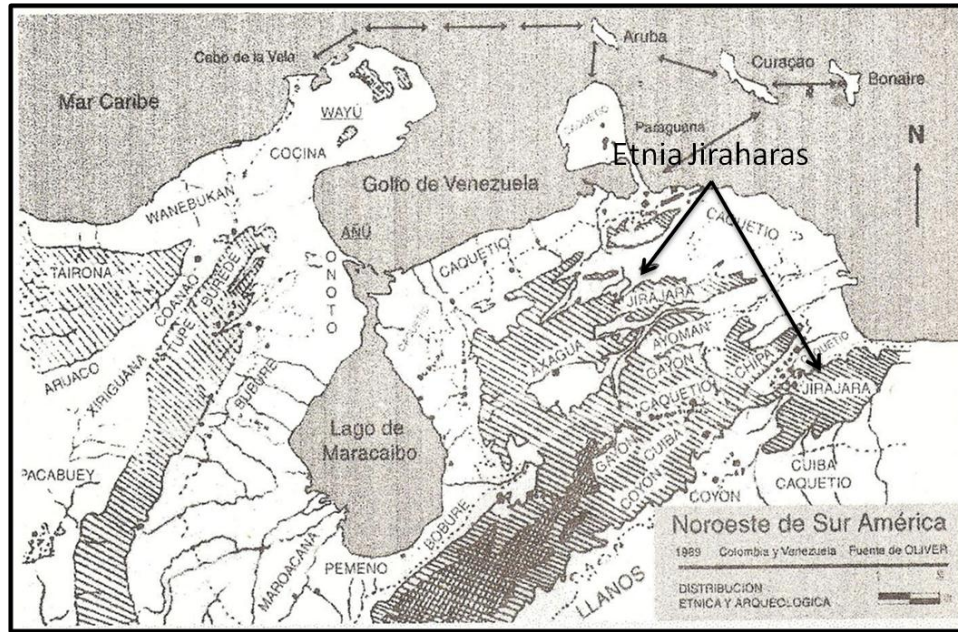


Figura 2.10. Diversidad étnica en el norte de Suramérica. Tomado de Historia Para Todos/29 (1998)

### Fuerte San Vicente

Como muestra la figura 2.11 es una edificación hecha en su mayoría de piedra y ladrillos horneados, encontrándose también restos de una pared de adobe. Fue construida entre 1550 y 1569, utilizada por los conquistadores españoles como resguardo antes las comunidades aborígenes cuando sacaban oro en la región, principalmente en las minas de Buría ubicadas en el estado Yaracuy. Son únicas en toda América Latina por estar ubicada en tierra adentro y no a orillas de costas marinas o riberas de ríos.

Cuenta con ocho (8) columnas frontales y doce (12) columnas laterales, cuatro (4) terrazas principales que tienen entre 18 y 29 m de ancho por 51 m de largo y dos terrazas laterales: la primera de 41,5 m de largo por 36,21 m de ancho en un extremo y 33 m en el otro; la segunda terraza es de 41,73 m de largo por 32,9 m de ancho en un extremo y 27,33 m en el otro. Tiene rampas en cada uno de sus niveles, algunas de ellas con decoraciones en sus laterales, que oscilan entre 2 y 8 m de largo, con una altura de 60 cm, a 1,30 m de altura en su base. Aún se conservan 12 columnas de su estructura original con intervenciones de cemento y piedra, algunas paredes completas y sus cuatro (4) terrazas. Tenían túneles que permitían trasladarse hacia un caserío cercano y hacia el cerro El Picacho.



Figura 2.11. Foto Fuerte San Vicente. Fuente: IPC (2004-2006) Catálogo del Patrimonio Cultural Venezolano.

Fue decretado Monumento Histórico Nacional en 1960 y Patrimonio del Estado el 25 de abril de 1976. A lo largo de la historia fue denominado de diversas maneras: Fuerte Real de Santa María de Arquicia, Fuerte de Santa María de Nirgua, Fuerte de Santa María de Nivar (cuando se firmó el acta de fundación de Nirgua en 1628) y Ruinas de San Vicente, como se conoce la actualidad.



Figura 2.12. Foto Ruinas del Fuerte San Vicente. Fuente: Yzacuy.net (2006), consultado junio 06 de 2012.

### **2.2.3 Marco jurídico**

En esta sección se describen los aspectos jurídicos que influyen de manera directa en cualquier desarrollo minero que se lleva o llevara a cabo, en consecuencia, representan un factor de gran consideración a tomar en cuenta no sólo por las operaciones mineras sino también para resguardar las zonas con protección ambiental. Se describen: la Ley de Minas, Ley Orgánica del Ambiente, Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación de Territorio y el decreto 1.257

#### **Ley de Minas**

Esta ley y sus Reglamentos fueron publicada en la Gaceta Oficial N° 121 Extraordinario de fecha 18 de Enero de 1945, consta de tres Libros para la Ley de Minas y de nueve Títulos para su correspondiente Reglamento. La Ley de Minas surge de la necesidad de establecer el Carácter de Utilidad Pública, la Obtención de la Concesión, el Sistema de Acceso para minerales no metálicos, la Temporalidad de las concesiones mineras, la Indivisibilidad Minera y la Distinción entre el Suelo y Subsuelo. El Libro II sobre las figuras del Denuncio, Fases previas para la obtención de la concesión, extinción de los derechos, y la Servidumbre y Política Minera quedarán derogadas posteriormente con el Decreto N° 2.039 Resolución N° 115 de fecha 15 de febrero de 1977, que consiste en la necesidad de evaluar exhaustivamente los recursos minerales del cual se presume su existencia por medio de estudios geológicos y la conveniencia que representa para el país. La explotación se debe efectuar en consideración a la clase de mineral que se requiere para el desarrollo industrial del país.

#### **Ley Orgánica del Ambiente**

La Ley Orgánica del Ambiente tiene por objeto establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad. Dicha Ley fue publicada en la Gaceta Oficial N° 31.004, el 16 de junio de 1976



siendo modificada y aprobada una nueva Ley Orgánica del Ambiente, publicada en Gaceta Oficial N° 5.833 Extraordinario del 22 de diciembre de 2006 siendo derogada la anterior de 1976.

### **Ley Penal del Ambiente**

Publicada el miércoles 2 de mayo de 2012, en Gaceta Oficial Número 39.913 de la República Bolivariana de Venezuela, tiene por objeto tipificar como delito los hechos atentatorios contra los recursos naturales y el ambiente e imponer las sanciones penales. Asimismo, determinar las medidas precautelativas, de restitución y de reparación a que haya lugar y las disposiciones de carácter procesal derivadas de la especificidad de los asuntos ambientales.

### **Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio**

Esta ley fue publicada el 27 de febrero de 2007, en la Gaceta Oficial N° 38.663. Tiene por objeto establecer las disposiciones que regirán el proceso general de planificación y gestión de la ordenación del territorio, en concordancia con las realidades ecológicas y los principios, criterios estratégicos del desarrollo sustentable, que incluyan la participación ciudadana y sirvan de base para la planificación del desarrollo endógeno, económico y social de la Nación.

### **Decreto 1.257**

**Normas Sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente:** Se tiene como objeto establecer los procedimientos conforme a los cuales se realizará la evaluación ambiental de actividades susceptible a degradar el ambiente. Por medio del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) que está orientado a predecir y evaluar los efectos del desarrollo de una actividad sobre los componentes del ambiente natural y proponer las correspondientes medidas preventivas, mitigantes y correctivas.

En este decreto se establece que toda actividad que implique la ocupación de territorio deberá notificarlo al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales y Renovables mediante la presentación de un documento de intención conteniendo los objetivos,

justificación y descripción del proyecto propuesto, las acciones que generan impacto en cada una de las etapas durante su desarrollo, la inversión estimada, al mismo tiempo también debe contener información acerca de los componentes físico-natural y socio-económico del medio a ser afectado.

## **CAPÍTULO III**

### **BASES TEÓRICAS**

En este capítulo se detallan los términos que permitirán una mayor y mejor comprensión de la investigación, se encuentran secciones que describen y definen los aspectos ambientales, culturales, estudios en rocas, mecánica de rocas, evaluación de yacimiento y planificación minera.

#### **3.1 Desarrollo sustentable**

El crecimiento acelerado en el desarrollo tecnológico, sin previsión de los efectos ni el costo del deterioro ambiental, es responsable por numerosas consecuencias de daño ambientales que han generado una evidente desconfianza en la población local a mundial. Un número creciente de industrias son cada vez más contaminantes, la emisión constante de particulado y gases tóxicos a la atmósfera ha provocado impactos negativos locales a globales como contaminación del aire, agua y suelos. Por otro lado, muchas operadoras mineras generan grandes volúmenes de desechos lo que implica una alta probabilidad de contaminación de aguas y suelos si esta no son tratados correctamente; mucho de los procesos industriales han causado daños en la biodiversidad, el cual representa una pérdida irreversible en lo físico natural. Por tanto, el desafío que enfrenta el mundo actual es lograr que las actividades económicas e industriales se realicen conservando el ambiente, atendiendo a los derechos y preocupaciones de las comunidades, por medio de un sistema de legislación y control eficiente por lo cual la minería representa un verdadero reto.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (UNCED) celebrada en junio de 1992, bajo el lema "Solidaridad para salvar el planeta" en Río de Janeiro, impulsó definitivamente el concepto sustentabilidad describiendo a detalle sus objetivos. Durante esta cumbre se declararon 27 principios que definen los derechos y responsabilidades de las Naciones en búsqueda del progreso y bienestar de la humanidad. También se emitió la "Declaración de Principios sobre los Bosques" con la intención de orientar la gestión, la conservación y el desarrollo sostenible de estos ecosistemas, esenciales para el desarrollo económico y la preservación de todas las formas de vida. Por

otra, parte se llegó al Acuerdo Internacional sobre Cambio Climático, incluyendo la estabilización en la emisión de gases con efecto invernadero al igual que el Convenio sobre Preservación de la Biodiversidad.

En 1997 se reunió en New York una "mini cumbre" de la Tierra llamada Rio+5, con el objetivo fundamental de evaluar lo existente y los objetivos previstos, desde la Cumbre de Río. Para la Cumbre Rio+10, en septiembre de 2002 en Johannesburgo, se hizo una reflexión sobre el grado de cumplimiento de los compromisos ambientales asumidos por la comunidad internacional (1992). La conclusión fue que el objetivo no ha sido lo satisfactorio que se desearía, pero se dieron pasos importantes en cuanto a la sensibilización de la población en materia de conservación ambiental.

Otro concepto de desarrollo sustentable y que ajusta muy bien con los propósitos de esta investigación lo acuña la Alianza para el Desarrollo Sostenible de Centroamérica (1994op. cit. Wautiez y Reyes, 2001), que lo definen como: "proceso que implica el respeto a la diversidad étnica y cultural regional, nacional y local, así como el fortalecimiento y la plena participación de la población en convivencia política y en armonía con la naturaleza"

El desarrollo sustentable y sostenible no es una utopía, sino que es un proceso en marcha que implica el compromiso desde el punto de vista social, económico y ecológico como respuesta a graves e importantes problemas del planeta Tierra. En definitiva, desarrollo sustentable y sostenible busca promover la conciencia en torno a la confluencia de crisis en todas las dimensiones y aspira el cese de un estilo de desarrollo económico, ecológicamente depredador y políticamente injusto.

### **3.1.1 Principios del desarrollo de la minería sustentable**

Las empresas mineras a lo largo de su historia se han caracterizado por dejar un legado ambiental negativo, provocado entre otras cosas por la irresponsabilidad de dirigentes de operaciones que constituyen dicha actividad. Sin embargo, en la actualidad la minería es una de las actividades que ha logrado mayor avance sostenido en su rendimiento ambiental con respecto a sus prácticas en el pasado. Para la consolidación de esta tendencia es necesario que se garantice la preservación de recursos naturales y culturales vitales,

logrando en la medida de lo posible la conservación de los ecosistemas para que la riqueza mineral contribuya en la continuidad ambiental.

El estudio de impacto ambiental (EIA) y la planificación de cierre de mina componen mecanismos de gestión ambiental que buscan mitigar, prevenir y corregir los efectos negativos causados por las operaciones mineras. Como es bien sabido, la minería genera constantes modificaciones topográficas en el territorio donde ésta se practica, resultando en grandes volúmenes de residuos, genera gases a la atmósfera, desvió de cursos de agua, vibraciones y ondas sísmicas en el terreno, entre otras cosas, por lo que las herramientas metodológicas de estudio y planificación se han convertidos en mecanismos indispensables en toda mina.

Como lo expresa Castillo, (2005), el concepto de reserva mineral sustentable debe incluir las dimensiones ecológicas y socioculturales, para la identificación y determinación de indicadores locales en la sustentabilidad de la industria extractiva mineral, para esto se debe hacer por lo menos en tres órdenes: i) un indicador de Impacto Ambiental Acumulado que represente la medición en el tiempo y en el espacio de las tendencias y tasas de afectación ambiental sobre un receptor específico; ii) el indicador de desarrollo humano que mida los índices de pobreza y exclusión; iii) el indicador económico de carácter local que puede ser el PIB por minería. Finalmente, se requiere con urgencia, trascender las prácticas de corrección y mitigación de daños mediante la aplicación de estrategias de prevención de impactos ambientales que incorpore al sistema ecológico sociocultural y económico en el aprovechamiento de recursos minerales.

### **3.2. Patrimonio cultural**

El patrimonio cultural está formado por los bienes culturales que a través de la historia le ha dejado a una Nación y por aquellos que en el presente se están siendo usados y a los que la sociedad les otorga una especial importancia histórica, científica, simbólica o estética; es la herencia recibida de los antepasados, que viene a ser el testimonio de su existencia, de su visión de mundo, de sus formas de vida y de su manera de ser, y es también el legado que se deja a las generaciones futuras.

Por otra parte, la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, celebrado en París del 17 de octubre al 21 de noviembre de 1972, por la Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación (UNESCO), la Ciencia y la Cultura, define y considera patrimonio cultural a:

- Los monumentos: obras arquitectónicas, de escultura o de pintura monumentales, elementos o estructuras de carácter arqueológico, inscripciones, cavernas y grupos de elementos, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia,
- Los conjuntos: grupos de construcciones, aisladas o reunidas, cuya arquitectura, unidad e integración en el paisaje les dé un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia,
- Los lugares: obras del ser humano u obras conjuntas del mismo y la naturaleza así como las zonas, incluidos los lugares arqueológicos que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista histórico, estético, etnológico o antropológico.

El legado cultural está cada vez más amenazado de destrucción tanto por las causas tradicionales de deterioro, como por la evolución de la vida social, es por esto, que las comunidades deben tomar las medidas necesarias para preservar y resguardar con el objetivo de prolongar su existencia en las mejores condiciones físicas permitidas y de esta manera garantizar la perspectiva arqueológica, histórica y cultural de nuestros antecesores

### **3.3 Petroglifos**

La definición de petroglifos proviene de los términos griegos “*petros*” (piedra) y “*glyphein*” (tallar). En su origen, fue acuñada en francés como “*pétroglyphe*”. Son diseños simbólicos grabados en rocas; muchos fueron hechos por nuestros antepasados prehistóricos del periodo neolítico. Son el más cercano antecedente de los símbolos previos a la escritura. Su uso como forma de comunicación data hacia el 10.000 a. C. y puede llegar hasta los tiempos modernos en algunas culturas y lugares.

Los Petroglifos son signos grabados en piedra en época prehistórica, en Venezuela se han hallado numerosos ejemplares y se calculan que están entre los 3.000 y 5.000 años a.C.

Entre los instrumentos que se utilizaron en el tallado están la abrasión o frotamiento con piedras complementadas con el uso de arena, agua, conchas marinas y la percusión lítica, llevada a cabo por medio de cinceles y martillos líticos. El Petroglifo más grande estudiado por J.M. Cruxent (1949), es la "La Rueda del Indio" en Chirgua, estado Carabobo, en el patio de la hacienda Cariaprima, el geoglifo mide unos 56,7 metros de largo y el investigador lo interpreta como una figura antropomorfa, de abajo hacia arriba; piernas, tronco, cabeza.

### **3.4 Estudio de rocas**

Para efecto de caracterización del macizo rocoso es necesario la realización de estudios en rocas que permiten analizar las propiedades físicas, químicas, mineralógicas y de mecánica de rocas, entre los ensayos a realizar están: petrografía; a través de secciones finas se analizan tamaño del grano, porosidad, madurez textural, composición mineralógica entre otras cosas; Fluorescencia de rayos X , se utiliza para obtener la composición química de los elementos presentes en las muestras; Carga puntual, es un ensayo de mecánica de roca que cuantifica la resistencia a la compresión simple que posee el material estudiado y finalmente, el ensayo de Desgaste de los Ángeles para conocer la calidad de las muestras para ser utilizado como árido de construcción.

#### **3.4.1 Mecánica de roca**

La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico-práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de las fuerzas internas y externas aplicadas en su entorno físico (González de Vallejo, 2002).

La aplicación de la mecánica de rocas a la ingeniería de minas, se basa en:

- Toda masa rocosa puede ser perfectamente identificada por un conjunto de propiedades mecánicas, las cuales pueden ser medidas mediante ensayos de tipo estándar.
- El comportamiento mecánico de una estructura minera excavada puede ser evaluado adecuadamente utilizando los fundamentos básicos de la mecánica clásica.

- La capacidad de poder predecir y controlar el comportamiento mecánico de la masa rocosa, puede beneficiar económicamente la operación minera.

### **3.4.2 Petrografía**

La Petrografía es la ciencia que se encarga de la descripción sistemática de las rocas y la técnica inventada por el físico escocés William Nicol consiste en producir una luz polarizada por el corte de un cristal de espato de Islandia (calcita) en un prisma especial conocido como Prisma de Nicol. Esta técnica fue perfeccionada por Henry C. Sorby, en Inglaterra a finales de 1840, consistiendo en que un trozo de roca fue colocado en un portaobjetos de microscopio, tan delgado que la luz puede ser transmitida a través de los granos minerales (que de otra manera se verían opacos) la posición de los granos no sea alterada, lo que permitió el análisis de la textura de la roca.

La preparación de la muestra consiste en la elaboración de la sección fina de la roca, mineral o suelo, que se analiza con el microscopio petrográfico de luz polarizada. La muestra es cortada con una sierra de diamante o láser, devastada con un abrasivo de grano fino hasta que se alcanza un espesor de 30  $\mu\text{m}$ .

El método de sección fina es el estudio estándar en las rocas porque se observa a gran detalle la textura que la caracteriza y contribuye en gran medida con el análisis de la secuencia de cristalización de los diversos componentes minerales de la misma.

### **3.4.3 Fluorescencia de rayos X**

Es un ensayo físico de laboratorio que consiste en analizar químicamente los elementos inorgánicos de las sustancias, su uso también se extiende en un amplio sector industrial como la minería para establecer y regular la calidad del producto, en la industria del vidrio y cerámica, en metalúrgicas, aleaciones entre otros.

En la técnica de fluorescencia o espectrografía de emisión por rayos X, la muestra es triturada en polvo fino y es comprimido en forma de píldora esférica o en un disco con la ayuda de aglutinante, luego esta muestra se irradia durante un corto periodo de tiempo con



los rayos X generados en tubo de rayos X de alta intensidad. La absorción sigue la ley de Beer:

$$\text{Log} \frac{I_0}{I} = K_d \Delta d \text{ [Ecuación 1]}$$

Donde:

$I_0$ : Intensidad de los rayos X incidentes

$I$ : Intensidad de haz no absorbido por la muestra

$K_d$ : Es una constante de proporcionalidad

$\Delta d$ : Es el espesor de la muestra

La energía de rayos X que se absorbe en la muestra da lugar a la generación de un espectro de emisión de rayos X característico de cada elemento de la muestra.

#### **3.4.4 Ensayo de carga puntual**

Este ensayo se utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple en fragmentos de rocas irregulares. El parámetro que se obtiene con el ensayo de carga puntual es el índice  $I_s$  y es posible correlacionarlo con la resistencia a la compresión simple del material ensayado, aplicando a la muestra una compresión axial y longitudinal.

Por lo general, en rocas muy competentes la medición de la altura de la muestra ( $D$ ) es suficiente para el cálculo de  $I_s$  por medio de la ecuación 1. Sin embargo, en muestras débiles, las puntas de carga pueden penetrarla o marcarla deformando la distancia por lo que se debe registrar la distancia en el momento de la falla.

$$I_s = \frac{P}{D^2} \text{ [Ecuación 2]}$$

Donde:

$P$ : Carga de rotura

$D$ : Altura de la muestra

El índice  $I_s$  y la resistencia a la compresión simple de la roca ( $\sigma_c$ ) se correlaciona mediante la ecuación 2.

$$\sigma_c = f \times I_s \text{ [Ecuación 3]}$$

Donde:

$f$ : Factor de correlación que varía según el diámetro de la muestra, para diámetro de 50 mm  $f$  es 23 y para valores distintos de 50 mm se deberá corregir el valor  $I_s$  con la curva mostrada en la figura 3.1.

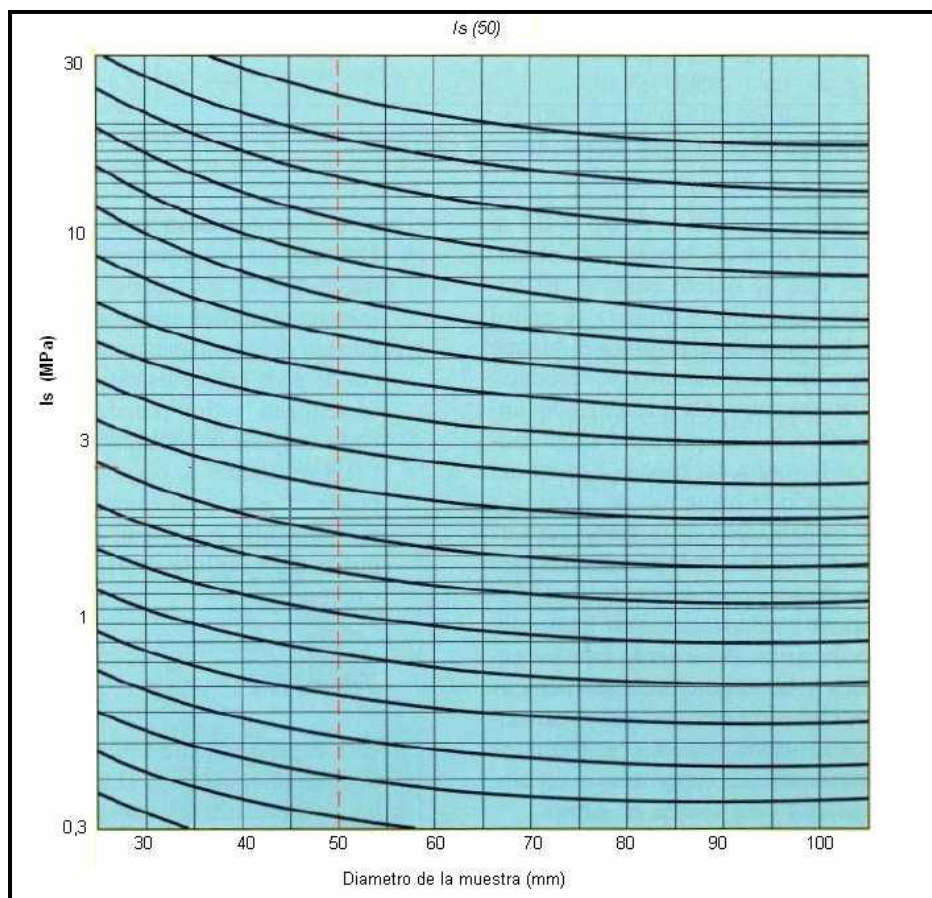


Figura 3.1. Corrección del índice  $I_s$  (50). Fuente: ISRM (1981).

### 3.6.3 Desgaste de los Ángeles

Este ensayo consiste en evaluar la resistencia al desgaste que caracterizan los materiales pétreos o áridos utilizados en la construcción. Para la obtención del desgaste en la muestra se utiliza un tambor cilíndrico (figura 3.2 a) de acero que gira en posición horizontal;

actuando sobre el material un proceso de profundo desgaste o destrucción de su superficie, producto del contacto con otro cuerpo más duro, generalmente esferas de acero durante el proceso de rozamiento como se muestra en la figura 3.2 b.

Las muestras son agregados que se usan en concreto, o agregados para base o como balasto de vía férrea. La cantidad de material a ensayar y el número de esferas de acero a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso. El método a emplear consiste en establecer la cantidad de material, número de esferas, número de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos.

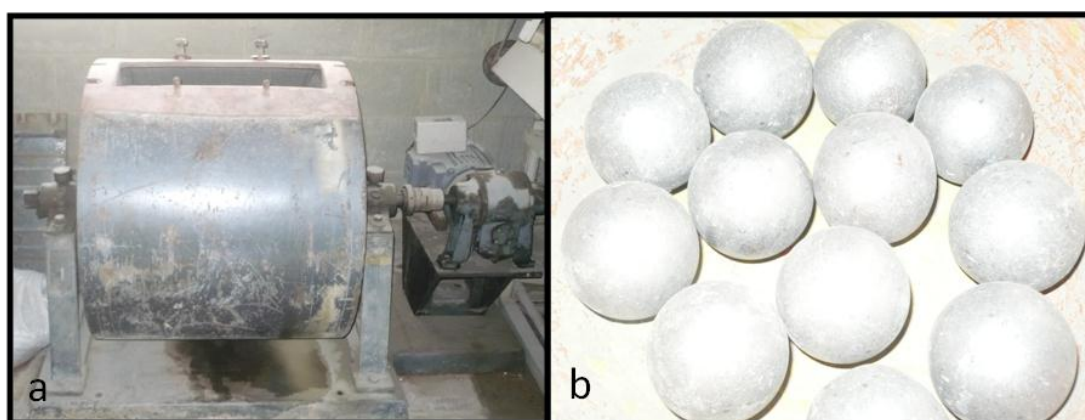


Figura 3.2. a) Máquina Los Ángeles Tinios Olsen. b) Carga abrasiva. Laboratorio de agregados del IMME. Foto propia (2012)

El material debe ser lavado y secado, reducido granulométricamente y tamizado según las mallas que se indican y mezcladas en las cantidades del método al que correspondan. Luego pesar la muestra con precisión de 1 gr., para el caso de agregados gruesos hasta de 1 ½” y 5 gr, para agregados gruesos de tamaños mayores a 3/4”.

Se introduce la muestra junto con la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles, se cierra la abertura del cilindro con su tapa, ésta tapa posee empaquetadura que impide la salida de polvo fijada por medio de pernos. Se acciona la máquina, regulándose el número de revoluciones adecuado. Finalmente se saca toda la muestra ya degradada de la máquina y se pasa por el tamiz y todo el material que pase por ese tamiz corresponde al desgaste.

El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original de la muestra y su peso al final del ensayo, expresada en tanto por ciento del peso inicial. A este valor numérico se le denomina Coeficiente de Desgaste Los Ángeles.

Por lo general, se puede decir que coeficientes superiores a 50 corresponden a áridos de mala calidad, no aptos para la construcción de capas del material firme. Coeficientes inferiores a 20 corresponden a áridos con resistencia al desgaste suficiente para cualquier posible aplicación, y en particular, para capas de rodadura bituminosas que hayan de soportar tráfico pesado.

### **3.7 Evaluación de yacimiento**

Es un conjunto de estudios aplicados para estimar el volumen de un determinado material, haciendo el análisis y la generalización de los datos experimentales de estudio lógico del yacimiento. La estimación correcta de la calidad y las coordenadas de ubicación espacial de las reservas contribuye en el aprovechamiento racional y a la protección del subsuelo.

Para efecto de la investigación, la evaluación de yacimiento mineral consiste en la estimación de recursos minerales y establecimiento de uso industrial para su aprovechamiento, creando escenario de extracción mineral, atendiendo la preocupación y necesidad de preservación del legado cultural como petroglifos, fuerte real San Vicente y de posibles cementerios indígenas entre otros patrimonio de la localidad.

La estimación de recursos inferidos consiste en la posibilidad de cuantificar la cantidad de mineral existente en un área donde geológicamente debería existir el yacimiento. Se basan un conocimiento generalizado del carácter geológico de la región en la cual se presume la existencia del yacimiento, solamente por conocer algunas muestras del mineral. La estimación se basa asumiendo la continuidad o repetición de las pocas evidencias que se tienen, dentro del área considerada.

#### 3.7.2 Métodos de cálculo de reserva

El cálculo de reservas geológicas se calcula por medio de la cantidad de reservas mineral  $Q$  y comúnmente se utilizan las reservas de componentes útiles  $P$ . Las fórmulas generales de cálculo de reservas son:

$$Q = Vd \text{ [Ecuación 4]}$$

$$P = Vdck \text{ [Ecuación 5]}$$

V: volumen del bloque de cálculo;  
d: la volúmica del mineral (mena);  
c: el contenido medio de componente útil por bloque;  
k: los coeficientes de corrección del cálculo de reservas.

Los métodos de cálculos de reservas buscan convertir el cuerpo mineralizado en cuerpos geoméricamente equidimensionales en cuanto a su volumen, su forma y en la difusión de los datos experimentales obtenidos en la prospección. Son conocidos más de veinte métodos diferentes de cálculo de reserva, entre los cuales en la práctica de exploración adquirieron bastante uso solo tres: los métodos de cortes, de bloques y los métodos estadísticos. Las reservas de casi todos los yacimientos explorados pueden ser calculadas con los métodos de cortes y de bloques.

### **3.8 Planificación minera**

La planificación es el proceso de elaboración de objetivos y acciones, así como el desarrollo y evaluación de alternativas de actuación para alcanzar una meta planteada, identificando oportunidades, disminuyendo resistencias externas y superando limitaciones internas y externas a la planificación.

La planificación minera actúa sobre los factores de suministro, conversión, producción y comercialización para lograr los productos requeridos en el tiempo desarrollando las distintas alternativas posibles. Suele dividirse consecuentemente, en función del tiempo (corto, medio y largo plazo), en función del espacio (áreas, niveles, secciones, zonas geográficas, etc.) o por el valor comercial (calidad, densidad económica de los productos, primarios, secundarios, etc.)

El primer paso en la minería a cielo abierto es la elaboración de un plan de explotación orientado a satisfacer tres objetivos básicos como son: la evaluación detallada de reservas,

el diseño del Pit final y el ritmo de producción. Los planes por lo general cambian a través del tiempo, en correspondencia con los cambios de las condiciones económicas, mayor conocimiento del depósito mineral o adelantos tecnológicos. En consecuencia, los planes de explotación deben ser actualizados regularmente para mantener la vigencia de los objetivos.

### **3.8.1 Diseño geométrico de mina**

La explotación de la caliza se efectúa a cielo abierto (canteras) y esto es debido a gran parte a su localización. Estos yacimientos por sus propiedades y emplazamiento en llanuras, laderas o terrazas, presentan un nivel más o menos cercano a la superficie de afloramiento.

Las Canteras es el término genérico que se utiliza para referirse a las explotaciones de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción. Constituyen el sector más importante en cuanto a número, ya que desde muy antiguo se han venido explotando para la extracción y abastecimiento de materias primas con uso final en la construcción y en obras de infraestructura. Las canteras pueden subdividirse en dos grupos:

1. El primero, donde se desea obtener un todo-uno fragmentado apto para alimentar a las plantas de tratamiento y obtener un producto destinado a la construcción en forma de áridos, a la fabricación de cementos, a la fabricación de productos industriales, etc. En este tipo de explotación se dan canteras donde la extracción no es cuidadosa y se dan grandes alturas de banco.
2. El segundo, dedicado a la explotación cuidadosa de grandes bloques paralelepíedicos, que posteriormente se cortan y elaboran. Estas explotaciones se caracterizan por el gran número de bancos que se abren para arrancar los bloques y la maquinaria especial con la que se obtienen planos de corte limpios.

Una cantera comprende un frente con uno o varios escalones (ver figura 3.3) según el emplazamiento del yacimiento, la naturaleza del terreno, la altura del banco explotado, los procesos y los medios de extracción previstos; una terraza por escalón suficiente para permitir el empleo y evolución de las máquinas para voladura, de carga en el frente y traslado del material extraído. Si la altura del frente es excesiva, se abre otro frente en la parte superior, después otro si es preciso y así sucesivamente dejando entre cada frente y el

banco superior una distancia horizontal igual a la altura del mismo, lo que establece una labor en bancos o escalones. De este modo, la excavación puede realizarse en todos los bancos simultáneamente, haciendo avanzar todos los frentes y conservando la anchura en los diferentes bancos.

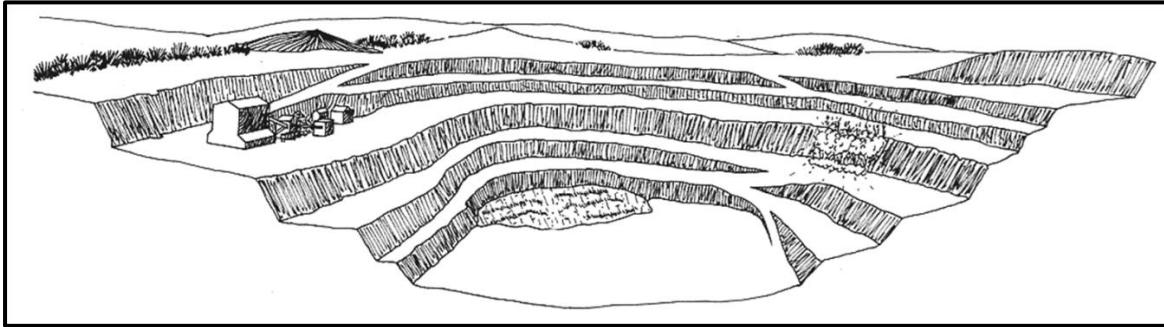


Figura 3.3 Explotación de cantera de áridos. Tomada de "Métodos de minería a cielo abierto" Herrera (2006)

La altura de un banco es determinada por una serie de factores, siendo los más importantes la estructura geológica del yacimiento, el espesor total del yacimiento, el carácter físico de la roca, las condiciones climatológicas y los métodos de voladura utilizados. Desde el punto de vista de la seguridad, entre más alto sea el banco menos inclinado debe ser su frente, ya que un banco de frente prácticamente vertical puede deslizarse en tiempos húmedos.

La altura corriente de los bancos en las canteras varía entre 5 y 14 metros y su anchura debe ser suficiente para dar cabida a la máquina cargadora por lo regular se utilizan palas mecánicas y el banco superior debe ser suficientemente volado para que no sepulte los trabajos del banco inferior ni socave el banco inmediatamente superior. Tanto la altura de los bancos como su anchura debe ser tal que el buzamiento general, considerando todos los bancos, no sea muy inclinado. En general, este buzamiento es medido desde el punto saliente del banco superior al borde del banco inferior, y es práctica de seguridad que el ángulo considerando la estructura geológica del yacimiento se encuentre entre los 30° y los 45°.

### **Vías de accesos y rampas**

La construcción de las vías de accesos y rampa dentro de una cantera forma parte del diseño geométrico de mina y es una actividad clave en el proceso de producción, su

elaboración debe programarse de tal forma que genere el menor impacto negativo en las demás actividades que conforma la mina, tiene como objetivo principal permitir el paso seguro hacia las distintas zonas de trabajo, cumpliendo con las restricciones geométricas de los equipos y de las actividades que estos desempeñan sabiendo que se realizan variadas actividades como: tránsito de vehículos livianos y pesados, equipos de carga de material, equipos auxiliares y de transporte entre otros.

Los accesos se deben construir en áreas seguras, donde no corra riesgo de inestabilidad del terreno para garantizar la seguridad de los trabajadores, minimizar el riesgo de algún siniestro geomecánico, evitar pérdida de equipos y producción. La configuración de una pista de transporte o acceso involucra la construcción de zanja, cunetas y de la distancia de seguridad.

Dentro de la geometría de los accesos y de los parámetros geométricos a considerar en el diseño de una mina están:

- Ancho de las bermas
- Ancho de las cunetas
- Pendiente
- Ángulo del talud del camino
- Ancho máximo de expansión
- Ancho mínimo de operación, perforación, carga y transporte
- Cruce de camiones o doble vía

### **3.8.3 Perforación y voladura**

El objetivo de la perforación y voladura es arrancar la roca de los frentes de explotación y luego ser trasladado a la planta de trituración o hacia las escombreras. La primera fase es la realización de la perforación de los barrenos que no es más que habilitar un espacio físico definido dentro de la roca y posteriormente ser llenado con explosivos, esta operación se realiza con equipos diseñados para este fin como perforadoras rotativas y equipos auxiliares como compresores y captadores de polvo, seguidamente se diseña un mallado o un diagrama de perforación donde el operador posicionará el equipo en los distintos puntos



establecidos para agujerar y comenzar la operación, la velocidad de rotación, empuje y velocidad del aire de barrido ira en función de las características de la roca.

La voladura es la fragmentación de la roca por medio de explosivos, la rotura del macizo rocoso se logra cuando la reacción química de los explosivos se propaga por medio del material moviéndose a una velocidad superior a la del sonido en dicho material, la formación de gases en grandes cantidades y a temperaturas elevadas adquieren una gran fuerza expansiva actuando sobre toda la masa de la roca fracturándola por completo. Las variables de diseño que controlan la voladura es la altura de banco, la longitud y diámetro de los barrenos, la longitud y diámetro de la carga de los explosivos, el espaciamiento, el retiro, el tipo y potencia de explosivos, tiempo de retardo, la secuencia de iniciación, tiempos de salida entre otros factores. En la figura 3.4 se muestra el esquema de una voladura tipo; donde se observa el mallado de perforación, el diámetro de los barrenos, la altura del banco, la longitud y ancho de la voladura entre otros parámetros más.

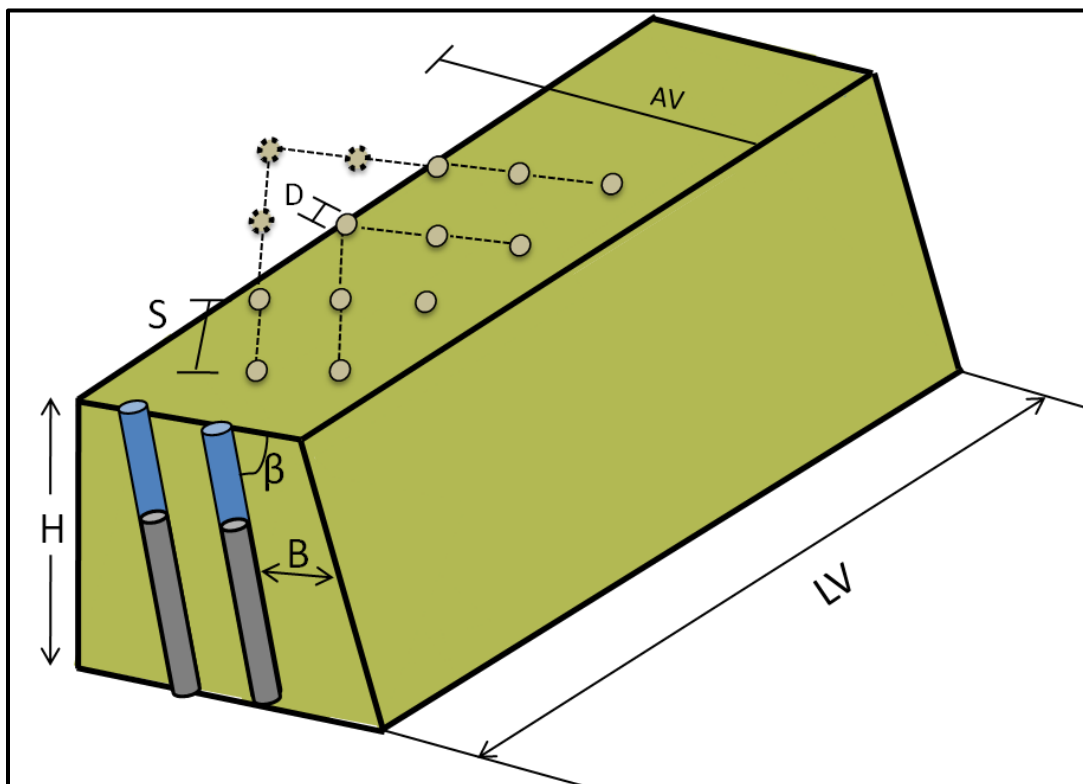


Figura 3.4. Esquema de una voladura tipo  
Tomado de I.T.G.E. (1994) "Manual de Perforación y Voladura de Rocas" modificado

Donde:

S: Espaciamiento

B: Retiro

LV: Longitud de la voladura

AV: Ancho de la voladura

$\beta$ : Ángulo de inclinación del barreno

D: Diámetro de perforación

H: Altura de banco

### **Diámetro de perforación:**

Definido por el diámetro de la broca de perforación, diseñado según las características del macizo rocoso, el grado de fragmentación deseado, la altura del banco, configuración de las cargas y por el equipo de perforación seleccionado.

La elección del diámetro de la perforación dependerá de la producción horaria y el ritmo de excavación, en la tabla 3.1 se muestra la relación que existe entre la escogencia del diámetro de perforación y la producción horaria dependiendo del tipo de roca.

Tabla 3.1 Relación del diámetro del barreno y la producción horaria

DIÁMETRO DEL BARRENO (mm)	PRODUCCIÓN HORARIA MEDIA (m <sup>3</sup> b/h)	
	Roca Blanda-Media (<120 Mpa)	Roca Dura-Muy Dura (>120 Mpa)
65	190	60
89	250	110
150	550	270

Tomado de I.T.G.E. (1994) "Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto"

### **Retiro (B):**

Es la distancia más corta a la cara libre, en una malla de perforación. El valor del retiro (B) es función del diámetro de los barrenos, de las características de la roca y de los tipos de explosivos empleados. Si la distribución de las cargas es selectiva, con explosivos de alta densidad y potencia en el fondo y otro de baja densidad y potencia en la columna, los

valores del retiro oscilan entre 33 y 39D (diámetro del barreno), dependiendo de la resistencia de la roca a la compresión simple y de la altura de la carga de fondo.

**Retacado (T):**

Volumen del barreno relleno de material inerte generalmente en superficie y que está definido por la relación de carga del barreno y el diámetro del mismo.

**Espaciamiento (S):**

Es la distancia más larga entre barrenos de una misma fila en una mallade perforación. El espaciamiento entre barrenos de la misma fila varía de 1,15B para rocas duras y 1,30B para rocas blandas siendo B el retiro.

**Sobreperforación (J):**

Es la longitud del barreno por debajo del nivel del piso que se necesita para romper la roca a la altura del banco y lograr una fragmentación y desplazamiento adecuado que permita al equipo de carga alcanzar la cota de excavación prevista. Se expresa

$$J = 0,30 \times B, \text{ donde } B \text{ es el retiro}$$

Tabla 3.2 Variable de diseño según el Retiro (B)

VARIABLE DE DISEÑO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)			
	Blanda <70	Media 70 - 120	Dura 120 - 180	Muy Dura > 180
RETIRO (B)	39D	37D	35D	33D
ESPACIAMIENTO (S)	51D	47D	43D	38D
RETACADO (T)	35D	34D	21D	30D
SOBREPERFORACIÓN (J)	10D	11D	12D	12D

Tomado de I.T.G.E. (1994) “Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto”

**Longitud de barreno:**

Longitud de perforación realizada en el área a volar definida por la altura del banco. La longitud de los barrenos aumenta con la inclinación, los equipos actuales de perforación admite una inclinación de la torre de hasta 30° de los mismos se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$L = \frac{H}{\cos \beta} + 1 - \frac{\beta}{100} \times j \text{ [Ecuación 6]}$$

Donde

H: Altura del banco (mt)

$\beta$ : Ángulo respecto a la vertical (grados)

J: Sobreperforación

### Diseño de Carga

Como se muestra en la figura 3.5 el diseño de la voladura en bancos está distribuida de tal manera que el efecto generado por la liberación energética de los explosivos sea capaz de superar la resistencia a la tracción de la roca en la sección CDD`C` y la resistencia a cizallamiento en la sección A`B`C`D`. La energía necesaria para que se produzca la rotura de la roca no es constante en toda su altura, la resistencia a cizallamiento es superior a la resistencia a tracción y es por eso que es preciso emplear una distribución de cargas selectiva, de forma que la energía específica en el fondo del barreno sea de 2a 2,5 veces superior a la energía de la columna.

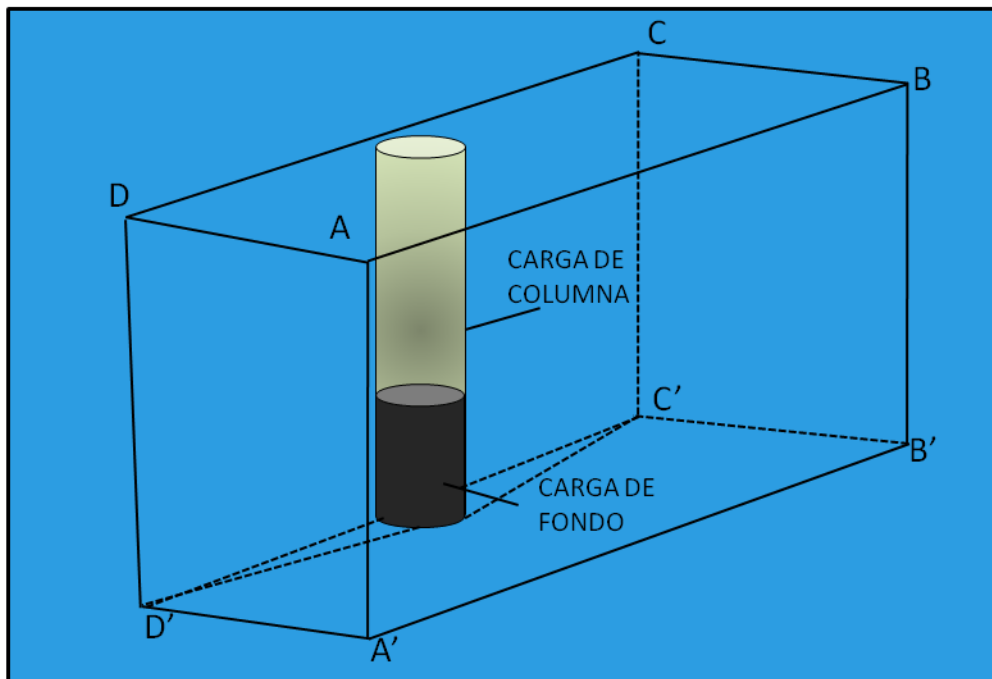


Figura 3.5. Distribución de explosivos en barrenos

Tomado de I.T.G.E. (1994) "Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto"

### ❖ Carga de fondo

Es la carga de explosivos concentrada en el fondo del barreno. La carga de fondo debe tener al menos una longitud de 60 % el retiro para que su centro de gravedad este por encima o a la misma cota que el piso del banco, según diversos autores entre ellos Langefors prolongar la carga de fondo por encima de una longitud igual al valor del retiro no contribuye apreciablemente al efecto de rotura en el plano en el pie del banco.

Los explosivos de gran densidad y potencia se emplean en la carga de fondo (Gelatinosos, Hidrogeles), los explosivos a base de nitroglicerina, por su impermeabilidad comportándose mejor en ambiente húmedo o con agua.

### ❖ Carga de columna

Carga de explosivo o agente de voladura en la sección de columna y sobre la carga de fondo. Se utilizan explosivos de baja densidad (pulverulentos, ANFO), los explosivos a base de nitrato de amonio ( $\text{NH}_3\text{NO}_3$ ) son pocos resistentes a la humedad por lo que su uso está limitado a barrenos secos. En el caso que se utilice en barrenos húmedos se debe aumentar la cantidad de dinamita para obtener una buena detonación. En explotaciones cilíndricas de gran diámetros se emplea la extensión de cargas continuas de ANFO a granel, mezclas (Emulsión/ANFO) y en algunos casos cargas selectivas constituidas en el fondo por ANFO Aluminizado, Hidrogeles o emulsiones con longitudes de 8 a 16D.

### Técnica cálculo de cargas explosivas de voladura de rocas (Langefors).

- Concentración de la carga de fondo [ $l_b$ ] (kg/m)

$L_b = L_b$  para determinar  $B_{m\acute{a}x}$ .

$$B_{m\acute{a}x} = 1,45 \times \sqrt{L_b} \rightarrow L_b = \left( \frac{B_{m\acute{a}x}}{1,45} \right)^2$$

$$B_{m\acute{a}x} = \frac{d}{33} \sqrt{\frac{p \times s}{\bar{c} \times f \times S/B}}$$

Donde:

$B_{m\acute{a}x}$ : Retiro máximo (m)

d: Diámetro del barreno (mm)

p: densidad de carga ( $Kg/dm^3$ )

s: Potencia relativa en peso del explosivo (PRP) (1-1,4) o (Emulsi3n = 0,95)

c: Constante de roca, por logeneral en voladuras a cielo abierto y rocas duras se toma  $c = 0,4$

$\bar{c}$ : Cantidad de explosivo necesaria para fragmentar  $1m^3$  de roca,  $\bar{c} = c + 0,75$

f: Grado de fijaci3n. Barrenos verticales  $f = 1$ , barrenos inclinados 3:1  $f = 0,95$ , barrenos inclinados 2:1  $f = 0,85$

S/B: Relaci3n del espaciamiento al retiro.

- Altura de la carga de fondo [ $h_b$ ] (m)

$$h_b = 1.3 \times B_{m\acute{a}x}$$

- Peso de la carga de fondo del barreno [ $Q_b$ ] (kg)

$$Q_b = L_b \times h_b$$

- Concentraci3n de la carga de columna [ $L_c$ ] (kg/m)

$$L_c = 40 \text{ a } 60 \% \text{ de } L_b$$

- Altura de la carga de columna [ $h_c$ ] (m)

$$h_c = L - h_b - h_0$$

- Peso de la carga de columna [ $Q_c$ ] (kg)

$$Q_c = L_c \times h_c$$

- Peso total de carga por barreno. [ $Q_{total}$ ] (kg)

$$Q_{total} = Q_b + Q_c$$

➤ Carga Específica [q] (kg/m<sup>3</sup>)

$$q = \frac{n \times Q_{\text{total}}}{B \times K \times w}$$

### **Vibraciones en el terreno por la voladura**

Uno de los principales inconvenientes de la utilización de la perforación y voladura como método de arranque mineral es la generación de vibraciones en el medio circundante en cada detonación, además de otras afectaciones medioambientales, tales como ruido, onda aérea, polvo y proyecciones de partículas.

Las vibraciones es un fenómeno de transmisión de energía mediante lapropagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio, está caracterizada por una fuente que es elgenerador de vibraciones y por un objeto o receptor de las mismas. En las vibraciones que se producen en voladuras, se trata de unas ondas que se propagan en el interior de la corteza terrestre,como consecuencia de la detonación del explosivo, y que se propagarán por el terrenocircundante y también por el aire.

La detonación de una masa de explosivo confinada en el interior de un barreno ubicado en un macizo rocoso genera de una forma casi instantánea un volumen de gases a una presión y temperatura enormes provocando un choque o impacto brusco, que se manifiesta en formade onda de deformación a través de la masa en torno al barreno siendo la energía vibratoria proporcional a la cantidad de explosivo utilizado.

$$E = p \times Q \text{ [Ecuación 7]}$$

Donde:

E: Energía vibratoria

p: Es la proporción de energía total del explosivo empleada en generar vibraciones(en voladuras convencionales en las que no existe gran confinamiento, este valores de 0.4, aproximadamente)

Q: Es la energía total del explosivo

Las ondas que se propagan por las vibraciones en voladuras, es en la zona exterior o elástica en torno del barreno. Las ondas elásticas se agrupan en dos grupos; las internas y las de superficies.

Las ondas internas se propagan por el interior del sólido rocoso y entre ellas se encuentran; las ondas longitudinales, de compresión principales P y las ondas transversales, de cizalladura ó secundarias S. las Ondas P se caracteriza por provocar la oscilación de las partículas en la misma dirección en la que la onda se propaga. Las ondas S se caracterizan por provocar la oscilación de las partículas en una dirección transversal a la dirección en que la onda se propaga.

Las ondas de superficie se transmiten por la superficie del material y entre las principales están; las ondas Rayleigh R y las ondas Love L. El efecto de las ondas Rayleigh es de compresión, dilatación y cizalla, su velocidad es aproximadamente 0.9 de las ondas transversales. Las ondas Love producen oscilaciones elípticas y se mueve a una velocidad similar que las Rayleigh.

En la figura 3.6 se muestran los trenes de ondas de una vibración generada por una voladura medidos en las tres componentes del movimiento; en ellos se distinguen los tipos de ondas P, S y superficiales que, al viajar a distinta velocidad, se van separando y diferenciándose.

### **Ley de Transmisividad**

La obtención de la ley de transmisividad del terreno nos proporciona una gran cantidad de información real sobre la generación, transmisión, amortiguación, filtrado de frecuencias, superposición de ondas y el posterior tratamiento estadístico de toda esta información permite la obtención de modelos de predicción de los distintos parámetros de la vibración, y su relación con las características básicas de diseño de las voladuras.



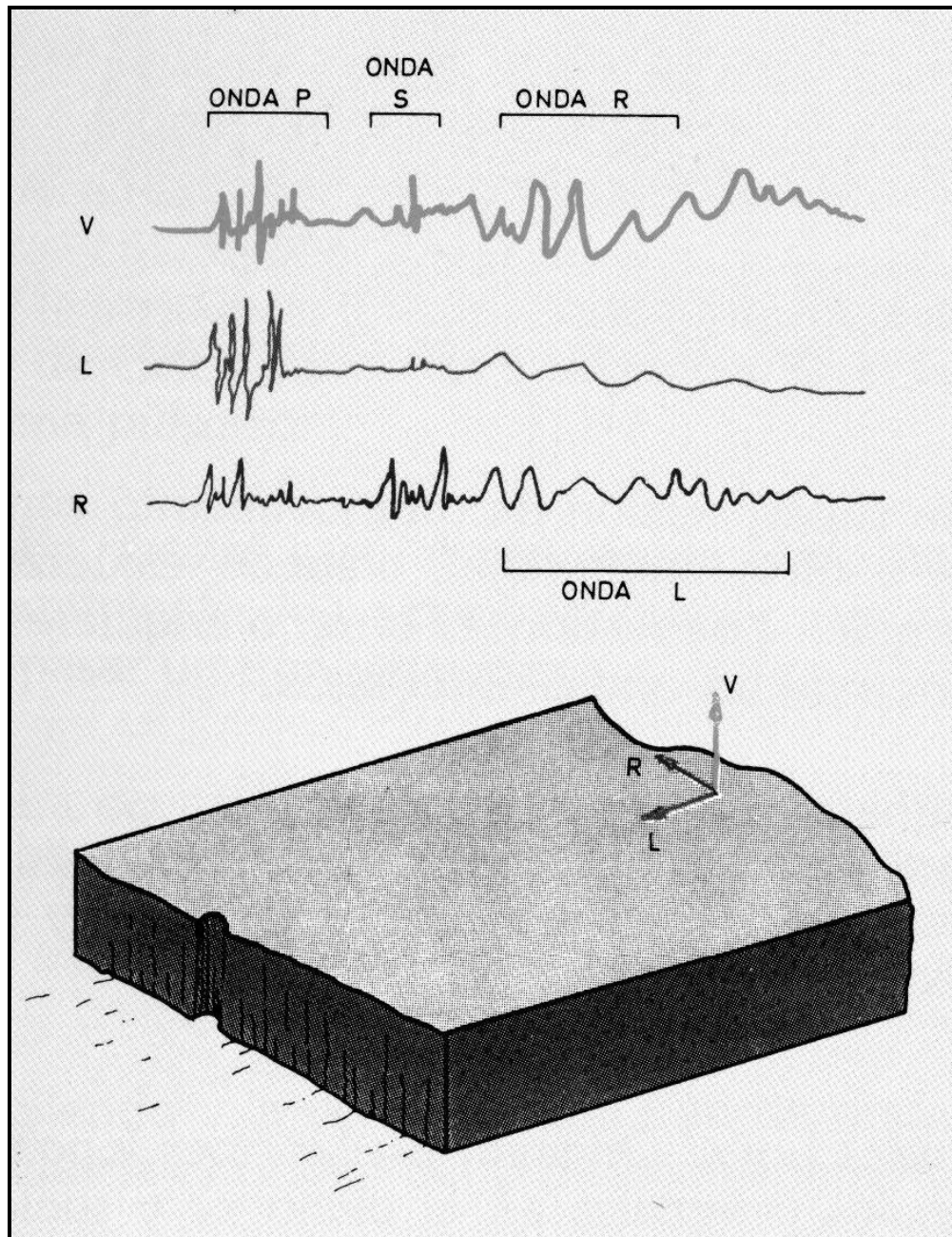


Figura 3.6. Trenes de ondas de las tres componentes del movimiento vibratorio. Tomado de I.T.G.E. (1994) "Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto"

El nivel de vibración recibida en un punto, expresado como valor de velocidad de vibración  $V$ , es función directa de la carga de explosivo empleado  $Q$ , e inversa de la distancia  $D$  entre el punto de disparo y el punto de registro.

$$V = K \times [Q \times \alpha] \times [D \times \beta], \text{ [ecuación 8]}$$

Donde:

V: Velocidad de vibración (mm/s)

Q: Carga de explosivo (kg)

D: Distancia (m)

K,  $\alpha$  y  $\beta$ : Son constantes que engloban la geología del terreno, la geometría de las cargas, las diferencias de cota entre los puntos de disparo y de medida, el tipo de propagación, el nivel de “aprovechamiento” de la energía en generar vibraciones, entre otros

La obtención de estas expresiones matemáticas se hace mediante ensayos, que constituyen lo que se llama un estudio de vibraciones siendo uno de los objetivos de dicho estudios hallar los valores de K,  $\alpha$  y  $\beta$ .

### **Análisis de frecuencia**

La peligrosidad con respecto a una estructura de una vibración no está dada solamente por el valor pico de dicha vibración, sino también por la frecuencia de la misma. La peor situación se produciría cuando la frecuencia de la onda que va a excitar una determinada estructura es igual a la frecuencia, o a una de las frecuencias de resonancia de dicha estructura. En este caso se produce la máxima absorción de energía por parte de la estructura y hay mayor probabilidad de que se puedan causar daños en la misma.

Es muy importante determinar la frecuencia en que viaja el tren de onda generado por la voladura, dicho tren de onda puede contener frecuencias diferentes y, de hecho, cualquier tren de ondas se le puede asimilar a la suma de una serie de armónicos de diferentes frecuencias. Para calcular cuales son las frecuencias que más dominan en un tren de ondas generado por una voladura, uno de los métodos que se aplica habitualmente es el hallar el espectro de frecuencias del mismo permitiendo determinar la frecuencia o frecuencias predominantes o principales de dicha onda.

### **Normativa de control de vibraciones**

Existen normativas específicas que regulan las vibraciones generadas por voladuras, proponiendo criterios de limitación de las mismas y, ocasionalmente, marcando pautas

sobre qué hacer en caso de realizar un proyecto que lleve implícito el uso de esa técnica, entre ellas están:

- Alemania: DIN 4150
- Francia: GFE
- Gran Bretaña: BS 738
- Suecia: SS460 48 6
- Portugal NP-2074
- Internacional: ISO 2631
- Estados Unidos: USBM RI 8507
- Norma Internacional ISO 4866

### **La Norma Internacional ISO 4866**

La ISO, Organización Internacional para Estandarización, por medio del comité técnico de vibraciones mecánicas y choque ISO/TC 108 crearon el estándar ISO 4866: “*Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement and evaluation of their effects on buildings*” en 1990 (ver ref. ISO, 1990), teniendo dos correcciones posteriores en los años 1994 (ref. ISO, 1994) y 1996 (ref. ISO, 1996). Este estándar es considerado como una guía técnica para la elaboración de normas regionales e investigaciones teniendo como propósito:

1. Reconocimiento de problemas donde se reporte vibraciones en edificaciones, que causen consternación en los ocupantes y sea necesario evaluar niveles que garanticen la integridad estructural.
2. Monitoreo de control donde niveles de vibración máximos permitidos han sido establecidos por alguna agencia y requieran ser reportados.
3. Diagnóstico cuando los niveles establecidos de vibraciones requieran más investigación.

La ISO tiene en cuenta la duración ya que es aplicable en cualquier investigación o normas de vibraciones con cualquier tipo de fuente. La forma en la cual este estándar tiene en

cuenta la duración de la señal es clasificando la vibración en continua o transitoria. Con este fin se define una constante de tiempo para la cual se presenta resonancia, dada por:

$$\zeta_r = 1/(2\pi \times \xi_r \times f_r) \text{ [Ecuación 9]}$$

Donde:

$\zeta_r$  = Constante de tiempo,

$\xi_r$  = Representa la influencia del amortiguamiento y depende del tipo de excitación y

$f_r$  = Es la frecuencia de resonancia.

Cuando la vibración es mayor de  $5\zeta_r$  entonces se considera que la vibración es continua y cuando es menor se considera es transitoria, en el caso de las voladuras ISO considera que se puede considerar como transitoria.

Cuando se realiza análisis de señales en el dominio de las frecuencias, la norma recomienda utilizar la densidad espectral de potencia o PSD (por Power Spectral Density, concepto y método que proviene de la ingeniería eléctrica y electrónica) o similares. Para el análisis de las señales en el dominio del tiempo plantea que se pueden utilizar conteo de picos o cruces por cero y para estudio requerido en función de la carga de explosivo que se vaya a detonar y la distancia entre el punto de disparo y la estructura a preservar la norma define el tipo de estudio a realizar.

Los tres tipos de estudios que pueden requerirse son:

- Proyecto Tipo: El de menor nivel de exigencia, consiste en una justificación teórica, obtenida por la aplicación directa de la norma, de que los niveles de vibración no van a alcanzar en ningún caso los límites establecidos.
- Control de Vibraciones: De grado intermedio, se trata de una medición real en las primeras voladuras del proyecto, con objeto de delimitar las vibraciones generadas.
- Estudio Preliminar: El más estricto, se aplica cuando se prevén alcanzar niveles superiores a los definidos por la norma; consiste en la obtención de la ley de transmisividad del terreno donde se va a ejecutar el proyecto mediante ensayos reales (disparo de cargas y medida de vibraciones).

En la figura 3.7, se recoge el ábaco que representa el criterio de selección del tipo de estudio requerido por la norma. Se observa cómo la norma distingue tres tipos de rocas (blanda,  $V_p$  menor de 2000 m/s; media,  $V_p$  entre 2000 y 4000 m/s; dura,  $V_p$  mayor de 4000 m/s;  $V_p$  es la Velocidad de Transmisión de las Ondas Sísmicas del Tipo P, a través de la roca), con lo que está considerado en ella el diverso comportamiento en cuanto a amplitud y en cuanto a frecuencia de los distintos tipos de roca.

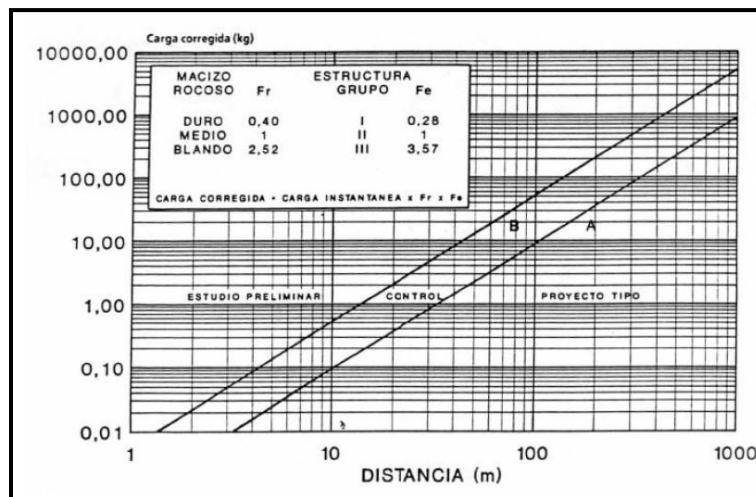


Figura 3.7. Criterio de selección de estudio requerido por la norma.

Tomado de I.T.G.E. (1994) "Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto"

La norma define el tipo de instrumentación que debe emplearse en la medida de vibraciones generadas por voladuras y cómo deben medirse donde los requerimientos básicos son la frecuencia de muestreo, la resolución, la capacidad de almacenamiento y análisis de las vibraciones, la capacidad de medir en las tres componentes del movimiento.

### 3.8.4 Operaciones mineras

Las operaciones básicas en minería consisten de tres fases; arranque, carga y acarreo representando operaciones unitarias dentro del proceso de extracción. En las canteras de calizas debido a las propiedades físicas que posee la roca el arranque se hace a través de perforación y voladura, el diseño del patrón dependerá del ritmo de producción que se quiera alcanzar y del grado de conservación que se tenga del entorno que rodea a la extracción mineral .

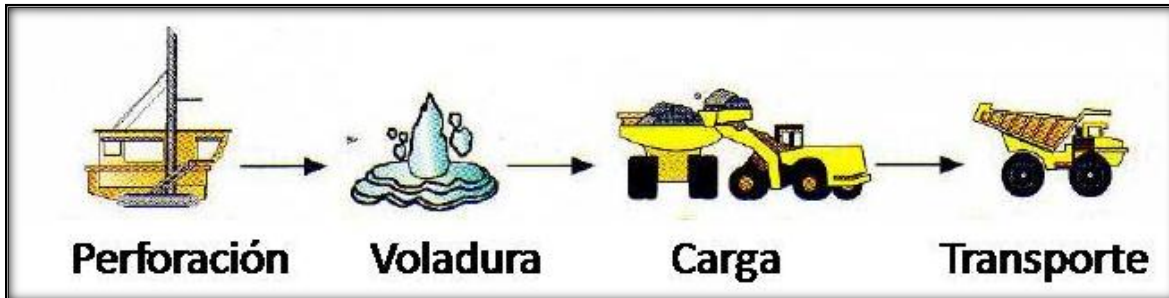


Figura 3.8. Proceso de explotación en Canteras. Fuente: Tomado de MGMM. Portal Minero (2008)

Para la carga del mineral existen una gran variedad de equipos. Los equipos de carga empleados frecuentemente en minería a cielo abierto se dividen en dos grandes grupos que son: estáticos y en movimiento.

Los estáticos poseen como medio de tracción orugas y tienen la particularidad de permanecer largos periodos de tiempo en un mismo sitio entre ellos tenemos:

- a) Retroexcavadoras
- b) Palas frontales
- c) Palas eléctricas

Los equipos en movimiento son los que poseen ruedas para su traslación, estos cuentan con mayor movilidad pudiendo desplazarse hasta 2 km, donde el objetivo principal es cargar el mineral volado de los frentes de extracción. Los equipos de carga más utilizados en las excavaciones tipo canteras son los cargadores frontales sobre ruedas, debido a su mayor movilidad en comparación con la excavadora de orugas que necesita otro equipo auxiliar para mayor eficiencia.

La escogencia de los equipos de transporte es muy variada y dependerá básicamente de la distancia a la que se requiere trasladar el material, bien sea hacia las escombreras o a la planta de beneficio mineral, los sistemas más utilizados son los camiones roqueros, las cintas transportadoras y trenes.

Para el transporte del mineral en canteras se utiliza generalmente camiones roqueros donde la mejor selección dependerá de las características del equipo de carga ya que se debe tener la mayor compatibilidad posible entre ambos y lograr una combinación apropiada de 3 a

5paladas el ciclo completo de carga. La secuencia de actividades que se debe realizar en el proceso de carga y transporte de mineral son:

- Preparación de la zona de trabajo.
- Posicionamiento de equipos.
- Retirar el material volado desde el frente de trabajo.
- Carga del material al equipo de transporte dispuesto para el traslado.
- Transporte del material a su lugar de destino.
- Descarga del material.
- Retorno del equipo de transporte al punto de carga si es necesario.

### **3.8.5 Tratamiento mineral**

La preparación mecánica del mineral en una cantera es la fase que consiste en la reducción granulométrica. El tratamiento tiene por objeto transformar el “todo-uno” de la mina, compuesta de elementos de todas las dimensiones desde grandes bloques hasta elementos finos, en material propiamente comercial clasificado en las distintas granulometrías requeridas y tan homogéneas como sea posible. Los principios en el tratamiento del todo-uno son simples, siempre y cuando las propiedades físicas de la roca sean de carácter sólido. Se basan prácticamente, en un problema de tamaño de fragmentos, de aquí que la operación sea dimensional, la preparación es un proceso que consta de varias etapas: trituración, molienda y clasificación.

La primera fase es la trituración, aquí el mineral que es trasladado desde los distintos frentes de arranque es reducido a diferentes fragmentos de roca producidos sin reducirlos a polvo, alcanzando tamaños de las dimensiones deseadas a partir del todo. La reducción primaria permite que la dimensión de la roca llegue a un tamaño de hasta 100mm, seguidamente en la fragmentación secundaria el tamaño del material oscila en una rango de 25mm el mínimo y 100 mm el máximo. Por otra parte, la granulación es una etapa posterior a la trituración y permite valores de 6.5 y 25 mm para el tamaño de la roca reducida y finalmente se tiene la trituración fina o molienda, aquí el material es reducido a dimensiones muy pequeñas de 0,1 a 5 mm aproximadamente.

## Equipos de trituración

Los equipos de trituración primaria por lo general recurren a los procesos de compresión, percusión, cizallamiento o una combinación de estos esfuerzos para la fracturación de la roca. Los equipos de fragmentación por compresión son las trituradoras giratorias y las de mandíbulas, esta última es una de las más usadas en la industria y su mecanismo consiste en romper la roca al comprimir una parte fija en otra parte animada por un movimiento de oscilación alrededor de un eje horizontal generado por un sistema de biela excéntrica y de placas de articulación.

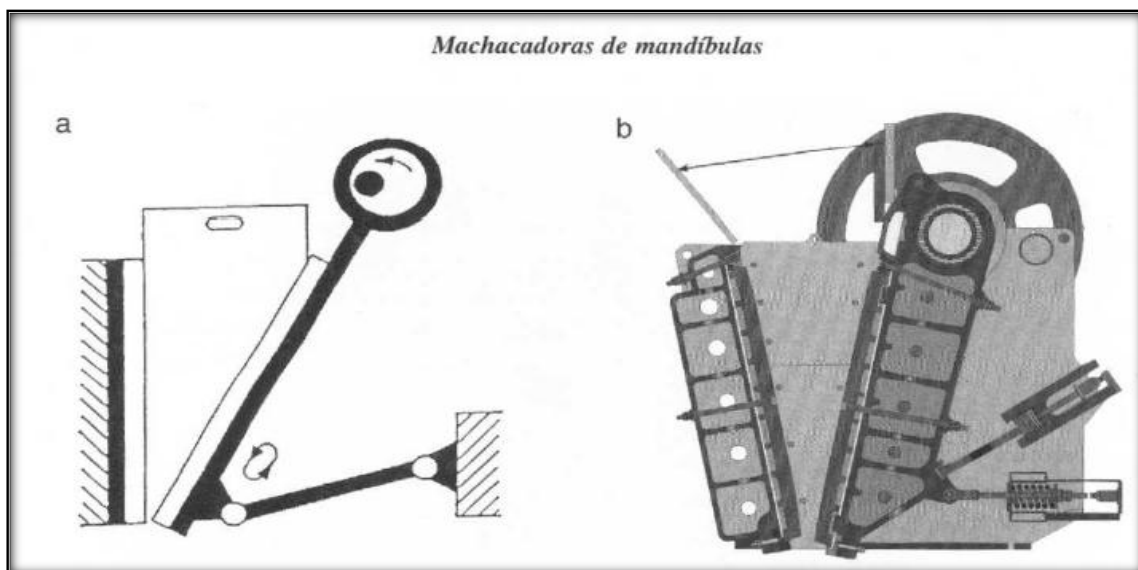


Figura 3.9. a) Esquema de una trituradora de mandíbula simple efecto b) corte esquemático de una trituradora de mandíbula simple efecto. Tomado de L. Fueyo (1999)

Los equipos que fracturan por percusión son los de rodillos y de impactos estos rompen la roca por medio de placas o martillos pesados articulados, estos equipos son menos utilizados industrialmente y su uso está destinado a materiales blandos. Las trituradoras de rodillos pueden tener un rodillo con dientes o dos, en cuyo caso estos son opcionales, básicamente estos equipos se utilizan en trituración primaria o secundaria. Las trituradoras de impacto varían principalmente en cuanto al diseño de los impactores y en cuanto a la naturaleza de la cámara de trituración. El tamaño del producto final puede ser ajustado ajustando el boquete entre las láminas de rotor y las barras del triturador unidas al compartimiento.



## **Clasificación granulométrica**

La clasificación busca agrupar por tamaño los fragmentos producidos en cada operación de fragmentación, seguidamente de ser necesario se aplica el lavado, donde los fragmentos son sometidos con objeto de eliminar parte del material indeseable que los pueda acompañar. La clasificación granulométrica se obtiene comenzando a pasar los materiales a granel a través de los orificios de un cedazo o criba, con objeto de separar sus fragmentos por grosores diferentes hasta alcanzar dimensiones superiores a 1 mm, luego a cedazos de mallas tupidas o tamices –para la clasificación sobre mallas de 0,15 a 1 mm– y finalmente a cernidos de clasificación en seco, sobre telas y finas de aberturas comprendidas entre 40 y 150 micrones. La operación final es la decantación diferencial, operación por diferencia de los pesos específicos de los elementos, también llamados gravimétricos.

Cada operación en el proceso de preparación exige productos con características de granulometría, limpieza y forma bien definidas. El todo uno deberá, por el contrario, sufrir una serie de tratamientos que lo hagan apropiado al uso que se propone.

En la práctica, se dividen los productos de las diferentes operaciones en:

- ✓ Piedra picada: 60/150 mm. Para utilizar en composición de hormigones, masa y como materiales de relleno en terraplén.
- ✓ Balasto: 45/60 y 20/45. Para utilizarlo en masa, en trabajos de carretera y construcción y como balastos en vías férreas.
- ✓ Grava: 20/60. Uso en hormigón y para fundaciones con arena.

### **3.8.6 Planificación de cierre de mina**

El plan de cierre de mina es la actividad que busca rehabilitar las áreas utilizadas por la minería una vez concluidas las operaciones, para que el terreno tenga condiciones similares a las que existían antes del desarrollo de la actividad minera. Es un instrumento de gestión ambiental conformado por acciones técnicas y legales efectuadas por los titulares de actividades mineras destinado a adoptar las medidas necesarias antes, durante y después del cierre de operaciones, con la finalidad de eliminar, mitigar y controlar los efectos dañinos al

área utilizada o perturbada por la actividad, para que ésta alcance características de ecosistema compatible con un ambiente saludable, adecuado para el desarrollo biológico y la preservación paisajista. Los escenarios de cierre de minas son:

- ✚ **Cierre de mina temporal:** Es la paralización de las actividades del proceso minero temporalmente producto de condiciones económicas temporales poco satisfactorias, esperando que los factores negativos se eliminen para reiniciar las actividades en el corto plazo.
- ✚ **Cierre progresivo:** Implica todas las actividades que se relacionan con el cierre minero y que son implementada de manera progresiva durante la etapa en que está operando el proyecto. Constituye un mecanismo muy importante para minimizar la cantidad de esfuerzo necesario para la implementación de medidas de cierre final y optimizar los resultados del cierre.
- ✚ **Cierre final:** ocurre cuando el recurso mineral económico ha sido agotado, por tanto cesan las operaciones de minado y de procesamiento. Implica actividades como: diseño de ingeniería requeridos para el desmantelamiento, demoliciones, estabilización física, geoquímica e hidrológica, restablecimiento del terreno; revegetación, rehabilitación de hábitats acuáticos y de áreas de préstamo, reconversión laboral, etc.

### **Objetivos del cierre de mina**

MEM-PERÚ (2002) define que los objetivos del cierre de mina 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. Al mismo tiempo, menciona que el objetivo principal de un cierre de mina es reducir la extensión del daño ambiental y la generación de residuos, a través de la reducción del lapso de tiempo entre la ocurrencia del daño y la remediación.

Por otra parte en el proyecto de reforma del sector de recursos mineros del Perú (PERCAN, 2005), indica que los objetivos para el cierre de mina son los siguientes:

1. Promover el cierre ordenado en lugar del abandono de los sitios mineros.

2. Promover el planeamiento proactivo
3. Promover el cierre progresivo durante las operaciones
4. Garantizar la seguridad pública en el largo plazo.
5. Dejar el sitio en condiciones ambientales benignas.
6. Retornar las tierras mineras a un uso productivo.
7. Mejorar la percepción pública sobre la minería

### **Cambio de uso del territorio**

La planificación de cierre de mina involucra el establecimiento del nuevo uso que tendrá el territorio una vez que la actividad minera ha concluido y cuál es el mecanismo de adecuación a realizar para lograr recuperar dicho espacio. Para esto se evalúan una serie de alternativas conjuntamente con modelamientos de las características físicas del lugar, localización, extensión, la demanda para una utilización específica, la percepción pública entre otros factores con el fin de evaluar las posibilidades de que el terreno vuelva a ser útil en otra actividad.

Entre las posibilidades de nuevo uso que se le puede dar a un territorio intervenido por la actividad minera son: uso agrícola o agropecuario, uso forestal, uso residencial urbano, uso urbanístico e industrial, recreativo no intensivo y educacional, recreativo y deportivo, conservación de fauna y refugio ecológico, geoparque, depósito de agua y abastecimiento a poblaciones, depósito de estériles, desechos entre otros.

### **3.8.7 Impacto ambiental en minería**

Históricamente la actividad minera no se ha caracterizado por estar de la mano de la sostenibilidad, es decir, no satisface las necesidades de las generaciones actuales sin hipotecar la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Han sido numerosas las noticias que han llegado a todos los lugares del mundo de accidentes mineros, alteraciones ambientales e incumplimiento de derechos humanos. Por noticias y situaciones como esa, la minería puede ser vista por la sociedad como un proceso destructivo que ocasiona daños irremediables al ambiente generando un severo impacto social a las comunidades. Sin embargo, es una actividad necesaria para la humanidad

porque suministra materia prima para la construcción de bienes y servicios que son indispensables en el vivir actual. Las operaciones mineras, el método de explotación, las características del depósito mineral, las modificaciones topográficas y climáticas son algunas de los parámetros propios de la actividad que causan los efectos e impacto en el medio ambiente y a la sociedad.

No cabe duda que la minería ha sido causante de numerosos casos de contaminación en la tierra y de notable deterioro al ambiente, pero no es la actividad económica que haya causado más impactos negativos al ambiente. Actividades más destructoras son, por ejemplo, el desarrollo agrícola y las construcciones civiles. Por otra parte la actividad minera es temporal, por tanto, no implica pérdidas definitivas de los terrenos para propósitos económicos pudiendo ser recuperada y restaurada para otros usos como la construcción de bosques y parques.

Algunos impactos ambientales relacionados con la actividad minera son: modificaciones topográficas y degradación visual del ambiente, destrucción de la masa vegetal, de la fauna, contaminación de aguas subterráneas, de escorrentía, de los ríos y los embalses, perturbación de la red de drenaje, destrucción de tierras agrícolas, generación de grandes volúmenes de desechos, contaminación sónica, emanación de gases tóxicos, generación de polvo y particulado atmosférico, sedimentación y erosión, pérdidas del suelo, vibraciones y ondas sísmicas por voladuras, impacto sociales, alteración de hábitats culturales y diversidad cultural.

### **Proceso de erosión y sedimentación**

El proceso de erosión es el resultado de la acción de las fuerzas de fricción de gases o fluidos en movimientos (Suárez, 2001). Todas las áreas de minas a cielo abierto están expuestas al proceso de erosión y posterior sedimentación, sin embargo, cuando el área se encuentra denudada, sin capa vegetal, el proceso erosivo se ve incrementado exponencialmente.

Los procesos de erosión se clasifican en eólica e hídrica. La erosión eólica es la que se produce por la acción del viento que ejerce una fuerza friccionante de levantamiento de las

partículas del suelo, desprendimiento, transportándola y sedimentándola (Suárez, 2001), en minería este proceso se puede ver incrementado por el paso de grandes maquinarias y por las vibraciones de la voladura.

La erosión hídrica es la que se produce por la acción del agua, las partículas superficiales del suelo se disgregan, son arrastradas por la acción del agua y depositadas aguas abajo, según la forma de presentarse se clasifican en: erosión laminar, surcos y cárcavas. El efecto producido por la erosión hídrica es significativo y el agua de lluvia es el principal agente que provoca dicho proceso. Suarez (2001) menciona que un suelo sin capa vegetal expuesto a una lluvia intensa de una hora de duración se calcula hasta cincuenta metro cúbicos por hectáreas removidas ( $50 \text{ m}^3/\text{hect}$ ).

Las medidas aplicables para el control en el proceso de erosión y sedimentación en las áreas intervenidas por las actividades mineras están en el diseño y construcción de obras de drenaje, desagüe y sedimentación con el objetivo de conducir los excesos de agua que se presentan durante los periodos de lluvias por lugares aptos y así evitar saturación y elevación del nivel freático, logrando prevenir pérdidas excesivas del suelo y estabilidad de los taludes.

### **Contaminación atmosférica**

Es un proceso que ocurre de manera microscópica y consiste en la presencia de compuesto o agentes externos que alteran la composición natural del aire, dichos elementos se pueden presentar de manera física por medio de sólidos (polvo) o líquidos, y a través de la emanación de gases y vapores.

En minería los compuestos sólidos o polvos poseen una granulometría que oscila entre 1 y  $1.000 \mu\text{m}$  y es transportado por efecto del viento hacia diversas áreas, su origen ocurre en las distintas superficies excavadas, por las actividades de remoción de tierra, en las operaciones de básicas de arranque, carga, descarga y transporte de material, en la actividad de preparación mineral pues la reducción granulométrica del material producen particulado muy fino fácil de trasladar, en las vías, escombreras y otros. Los gases y vapores poseen

orígenes diversos, como emisiones de los equipos de combustión internas, en las detonaciones de explosivos y en la planta de beneficio mineral.

Los gases y el particulado atmosférico poseen granulometría muy fina que resulta respirable para los seres humanos cuyo efecto se puede manifestar en problemas respiratorios y en enfermedades relacionada a esta índole, también la alteración atmosférica representan inconvenientes para la flora y la fauna existente en la zona y áreas aledaña. Por tanto, se deben tomar medidas mitigantes que controlen la generación y emanación de estos compuestos y garantizar la estabilidad atmosférica de todo el entorno minero, entre las medidas a tomar en el control son: construcción de pantallas vegetales y barreras como obstáculo en la difusión de polvo, sistema de riego y control exhaustivo en las distintas operaciones mineras.

### **Contaminación del suelo**

La contaminación de suelo producto del efecto de la actividad minera se genera por la perturbación de los componentes minerales, orgánicos y nutrientes que éste posee, la generación de desechos industriales líquidos y sólidos, domésticos, derrame de aceites y filtros de las maquinarias o el mal manejo de estéril son algunos causantes de este efecto. Entre las medidas a tomar para evitar la contaminación de los suelos está el control y manejo adecuado de los materiales de desechos con la disposición de espacios y recipientes altamente calificado para tal fin. Tomar las medidas preventivas y de seguridad en el área de mantenimiento de equipos y evitar derrames de líquidos contaminantes bien sea accidental, intencional o por descuido.

## CAPÍTULO IV MARCO METODOLÓGICO

### 4.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo campo y descriptiva. La primera etapa es de campo con el fin de hacer la exploración y reconocimiento del macizo rocoso, establecer los contornos en la toma de muestras para el cálculo de reservas e identificación de los petroglifos. La segunda etapa es descriptiva, donde se detalla mediante ensayos de tipo estándar las propiedades mecánicas de las muestras de rocas presentes en la zona, la evaluación de las alternativas de explotación y el impacto generado del ciclo minero de arranque-carga y acarreo, y demás actividad propia de la minería en el legado cultural presente en la zona.

### 4.2 Diseño de la investigación

La investigación consiste de cuatro (4) etapas principales; recopilación de información, actividades realizadas en campo, ensayos de laboratorio y la evaluación de alternativas de explotación garantizando la integridad y preservación del legado cultural.

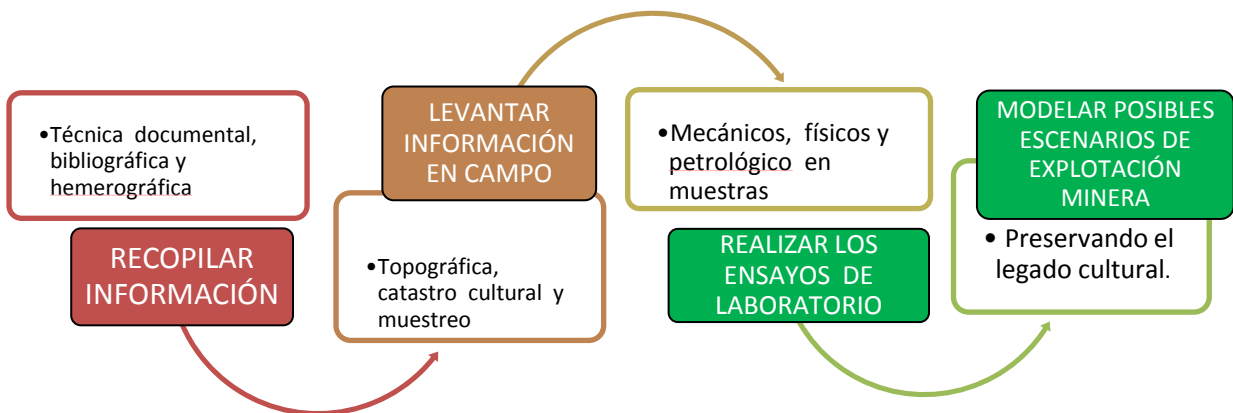


Figura 4.1. Etapas de la Investigación. Elaboración Propia.

El diseño de la investigación es no experimental para las dos primera fase del proyecto del tipo exploratoria y descriptiva, debido a que se observa los fenómenos tal y como ocurren naturalmente sin intervenir en su desarrollo. Las etapas siguientes de ensayos de laboratorio y de modelamiento de los posibles escenarios de explotación mineral son del tipo experimental ya que un determinado número de variables pueden ser manipuladas dentro de un ambiente controlado con la intencionalidad de ver las respuestas a dicho cambio.

### **4.3 Población y muestra**

La población de la investigación está constituida por todas las rocas presentes en el afloramiento de caliza metamórfica, en el sector Los Cogollos, localidad de socavón del municipio Nirgua como posible material para balasto, cemento o áridos de construcción con alto potencial en rocas carbonáticas como el mármol y la caliza.

La muestra de esta investigación está conformada por 80 Kg de rocas seleccionadas de manera ordenada, sistemática y representativa arrancada en los puntos de la poligonal sobre el afloramiento, (Punto 1: 542.666 E; 1.124.464 N. Punto 2: 542.644 E; 1.124.470 N. Punto 3: 542.653 E; 1.124.431 N;) para la descripción litológica y realización de los ensayos de laboratorio en el establecimiento de las propiedades químicas y de mecánicas del macizo rocoso.

### **4.4 Recolección de datos**

#### **4.4.1 Instrumentos**

En la etapa de campo para la identificación del macizo rocoso, establecimiento de los contornos para el cálculo de recursos, así como para la recolección de muestras se hace uso de una serie de elementos típicos en los reconocimientos geológicos como:

- Brújulas Brunton, la misma fue utilizada para medir planos (rumbos y buzamientos)
- GPS para la ubicación y la obtención de las coordenadas UTM de cada parada en campo.



- Mapas para la ubicación de la zona de estudio y cartografiar los lugares de interés geológico, mineros y patrimoniales.
- Martillo de hierro y cincel que permitió la obtención de muestras de rocas en los afloramientos.
- Bolsas de muestreo plásticas para el resguardo y clasificación de las rocas recuperadas.
- Libreta de campo, lupa, cinta métrica, ácido clorhídrico.

En la etapa de los ensayos de laboratorio, para la determinación de las propiedades química, mecánicas y de caracterización de las rocas se requiere de una serie de instrumentos tales como:

- Tamices estándar 2", 1 y 1/2", 3/4", 3/8", 4, 10, 20, 40, 60, 100 y 200, y siguiendo la norma ASTM y tamizadora Gilson Test-Master (figura 4.6 B), serie N° T469, modelo TM1 para la clasificación de agregados gruesos.
- Balanzas TOLEDO (ver figura 4.2. b) con capacidad de 50 Kg con apreciación de 0,01 gr, para la determinación de la masa de las muestras en el ensayo de Desgaste de los Ángeles.
- Equipos de trituración primaria (ver figura 4.2 c) y secundaria, se utilizó para la reducción granulométrica del material en la realización de los ensayos de Desgaste de los Ángeles, Fluorescencia de rayos X, esta última luego de la trituración posteriormente se procedió a las etapas de molienda y pulverización.
- El equipo de Fluorescencia de Rayos X por energía dispersiva (FRX-ED) marca Paralicar, modelo Minipal2. Es un equipo compacto por dispersión de energía, diseñado para la detección y cuantificación de elementos químicos.
- Cortadora de escritorio Petrocut (figura 4.3 a). Desbastadora cortadora Petro-Thin (figura 4.3 b).
- Microscopio de luz polarizada Orthoplan Leitz. Kyowa, BIO-POL2 (figura 4.7)
- Máquina de Los Ángeles, Tinios Olsen Machine Company (figura 4.11 D), modelo N° 46452. Se utilizó para determinar el porcentaje de desgaste en las muestras.

Para los análisis de los datos se utilizaron herramientas informáticas como: hoja de cálculo, que permitió el almacenamiento, compilación y generación estadística de los resultados de

los ensayos para una mejor comprensión. Se hizo uso de ARCGIS<sup>R</sup> 9, para georeferenciar las coordenadas del afloramiento del macizo rocoso como la determinación de la superficie que éste posee.

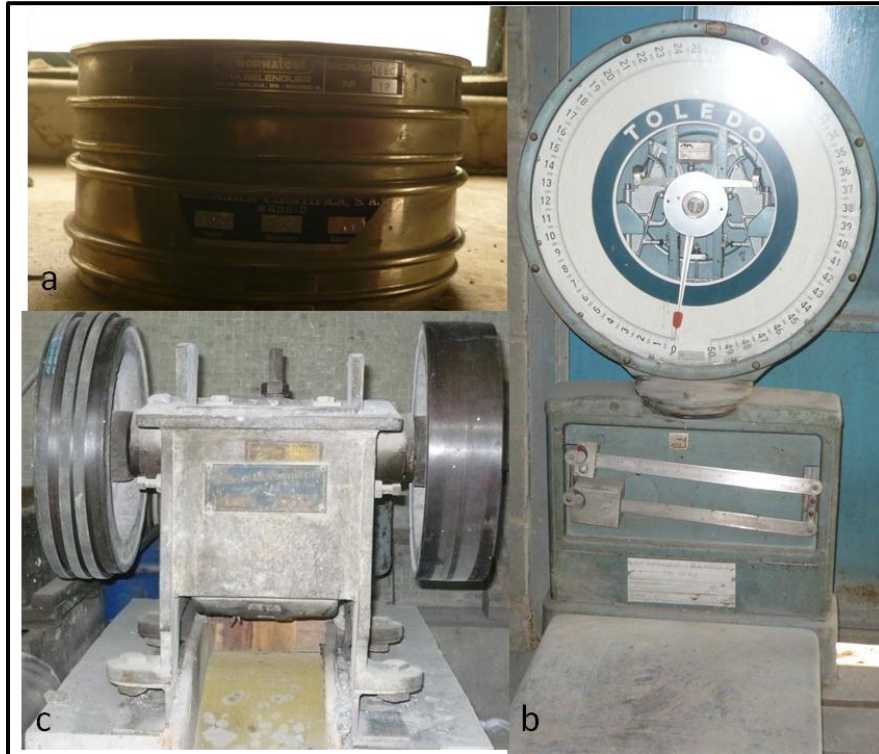


Figura 4.2. a) Tamiz N° 12, abertura de 1680 micrones. b) Balanza Toledo con capacidad de 50 Kg. c) Trituradora Primaria, Mine Smelter 4x6, Modelo C.979. Laboratorio IMME. Fotos propias (2012)

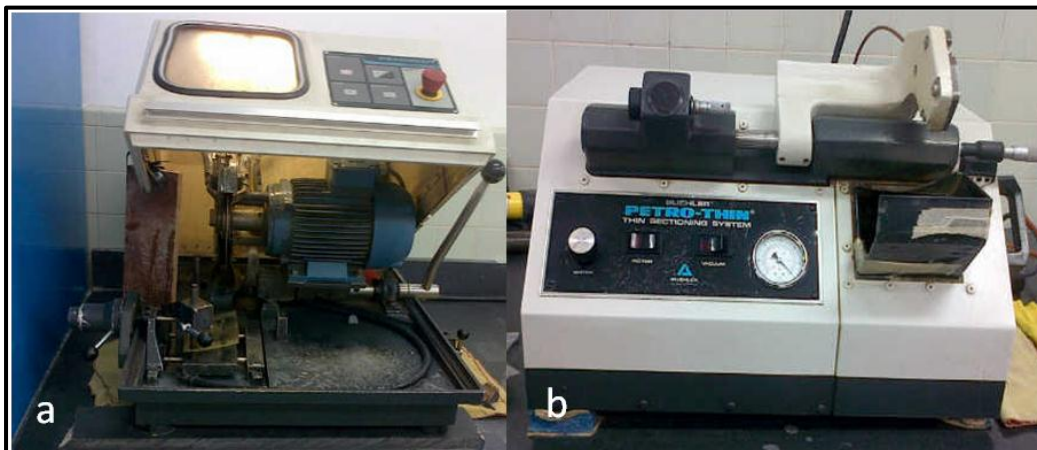


Figura 4.3. a) Cortadora de escritorio Petrocut. b) Desbastadora cortadora Petro-Thin. Laboratorio FI-UCV, Departamento de Geología. Fotos Propias (2012).

#### 4.4.2 Procedimiento

La cronología con la que se realizó la investigación consistió en la metodología sistemática de las etapas descritas en la figura 4.2.

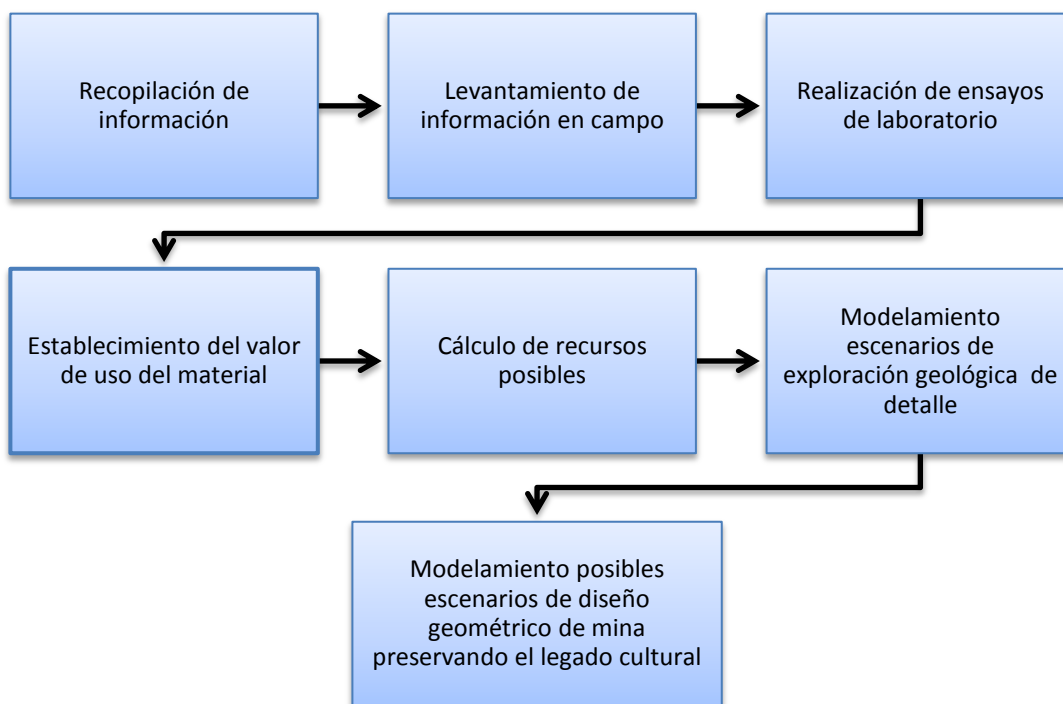


Figura 4.4. Metodología de actividades a realizar. Elaboración Propia

#### Recopilación de información

La primera actividad fue la recopilación técnica documental y bibliográfica de la geología presente en la zona de estudio y del patrimonio cultural que se encuentra en el municipio Nirgua del estado Yaracuy. Para ello se recurrió a diversos autores de informes, tesis de grado, fotografías, visitas a bibliotecas, páginas web geológicas, mineras, de geodiversidad, desarrollo sustentable y a una visita a la Fundación Jiraharas de Nirgua quienes aportaron grandes volúmenes de material pertinente a los petroglifos que se encuentran en el estado Yaracuy.

Lo siguiente fue la sistematización y recopilación de la información histórica, físicos naturales y socio cultural de la zona de estudio.

El tercer paso es la revisión de hojas cartográficas a escala 1:25.000 del I.G.V.S.B del año 1994; 6446-II-NE, 6446-I-SE, 6446-II-NO, 6446-I-SO y la hoja cartográfica 6446 a escala 1:100.000 edición 1977, con el objetivo de identificar los afloramientos y los lugares de interés arqueológicos en la zona.

### **Levantamiento de información en campo**

Haciendo uso de la información recopilada se estableció el mecanismo de trabajo en campo, la logística y la entrada al mismo, el cual se dividió en dos etapas, la primera fase consistió en la identificando de las vías de accesos, los cuerpos de agua, el relieve, tipo de vegetación y el reconocimiento geológico del afloramiento presente en el sector Los Cogollos con la finalidad de obtener las variables suficientes para el proceso de evaluación mineral y así establecer el valor de uso del material. La segunda se redujo en ubicar y describir los petroglifos presentes en el cerro El Picacho de forma ordenada y sistemática.

La primera visita que se realizó fue al afloramiento de caliza metamorfizados, la ubicación del mismo se hizo con la ayuda de GPS y luego cartografiado en el mapa, de esta manera se procedió en cada parada para su descripción y toma de muestras. La fue recorrida zona para su identificación y seguidamente se describe la geología superficial observada. La descripción litológica consistió en observar color fresco y meteorizado, contactos, discontinuidades, reacción al ácido clorhídrico (HCl), dureza, resistencia de la roca, clasificación del macizo rocoso según el estado físico, medición de rumbo y buzamiento.

Posteriormente se procedió a la toma de muestra de mano para analizar sus propiedades físicas. La toma de muestra se hizo en la cara de los taludes expuestos de forma ascendente recolectadas cada 10 metros a lo largo de una poligonal que rodea el contorno del afloramiento. Se extrajeron bloques irregulares de tamaños variables con la ayuda de un martillo y un cincel, las dimensiones de los bloques de muestras varían desde 10x10x10cm la más pequeña a 30x30x30cm aproximadamente la más grande, las mismas fueron guardadas en bolsas plásticas, siendo identificada con la letra M seguida con el número de muestra correspondiente, sector y la fecha en la que fue tomada con la finalidad de mantener una secuencia, luego éstas fueron trasladadas hasta el laboratorio para analizarlas

petrográficamente y mecánicamente. No se pudo hacer perforaciones con recuperación de testigo, por tanto no se hizo un estudio más detallado y profundo con estas muestras.



Figura 4.5. A- Equipos de arranque de muestra. B- Bloque de roca cortado del afloramiento y bolsa plástica de resguardo. C- Arranque de muestra. Fotos propias (2012)

## Realización de ensayos de laboratorio

### - Petrografía

Las muestras fueron acondicionadas para su análisis petrográfico, las mismas se cortaron y se prepararon en sección fina siendo un total de tres (3), una por cada sector. El análisis se hizo con un microscopio de luz polarizada modelo Kyowa, BIO-POL2 observado en la figura 4.7 b. En cada muestra se identificó; composición mineralógica, tamaño de grano, textura, grado de meteorización y se determinó el nombre de la roca.



Figura 4.6. Muestras seleccionadas para la realización de secciones finas. Fotos propias (2012)



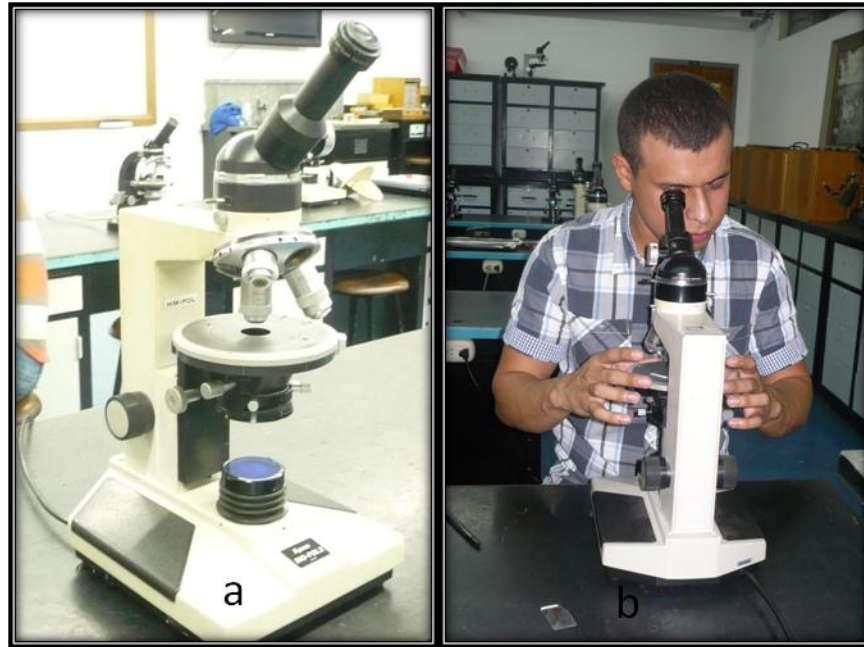


Figura 4.7. a) Microscopio de luz polarizada Kyowa, BIO-POL2. b) análisis petrológico de las secciones finas. Laboratorio 329 de petrología U.C.V. Fotos tomadas por González (2012)

#### - **Fluorescencia de rayos X**

La fluorescencia de rayos X (FRX), se realizó en el Laboratorio del Departamento de Geología de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, UCV. Para iniciar con el ensayo se seleccionaron tres (3) lotes de muestras de los sectores uno (1), dos (2) y tres (3) y se acondicionó para su análisis. Las muestras fueron reducidas a polvo fino y se compactó en forma de pastilla esférica para luego ser irradiada por los rayos X del equipo de fluorescencia a través de energía dispersiva (FRX-ED).

Este ensayo nos permitió conocer la composición química de las muestras mediante la comparación de intensidades medidas en cada una de ellas. Se determinó los porcentajes de: SiO<sub>2</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O.

#### - **Carga Puntual**

La determinación de la resistencia a la compresión simple se realizó en el laboratorio de Mecánica de Rocas "Profesor Miguel Castillejo" del Departamento de Minas, de la Universidad Central de Venezuela. En La figura 4.8, se muestra la selección de bloques de

rocas irregulares que se escogió para la realización del ensayo, un total de quince (15) especímenes fueron ensayados. Luego de la selección de las muestra se procedió a determinar sus dimensiones (ancho y diámetro equivalente) con la ayuda de un vernier y seguidamente, se inició con el ensayo, colocando la muestra entre las dos puntas cónicas metálicas de la máquina (ver figura 4.9) accionada por una prensa hasta lograr la rotura del material. Se hacen las lecturas de la carga de rotura  $P$  y se determina el índice  $I_s$ .



Figura 4.8. Muestras seleccionadas para la realización del ensayo de carga puntual.  
Fotos propias (2012)

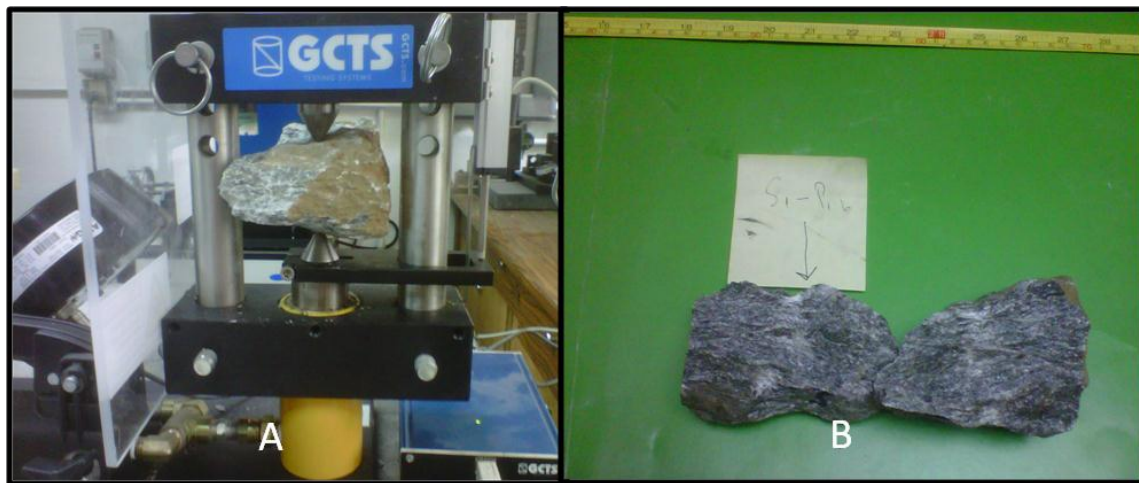


Figura 4.9. Ensayo de carga puntual. Laboratorio de Mecánica de Rocas FI-UCV, Departamento de Minas. Fotos Propias (2012)

#### - **Desgaste de los Ángeles**

Este ensayo se realizó en el laboratorio de agregados y de concreto armado del IMME (Instituto de Materiales y Modelos Estructurales) de la Universidad Central de Venezuela, siguiendo la metodología de la figura 4.10, el cual nos permitió establecer la gradación de las muestras, el número de revoluciones y de esferas que tendrá la maquina Los Ángeles, para finalmente conocer el coeficiente de desgaste que posee el material.

Para iniciar con el ensayo las muestras fueron lavadas, secadas, reducidos granulométricamente con la ayuda de una trituradora primaria. Seguidamente, el material reducido se tamiza y se clasifica en gradación tipo B. Posteriormente, se pesó 5 Kg (2,5 Kg pasa 3/4" y retenido 1/2", y 2,5 Kg de pasa 1/2" y retenido 3/8") de muestra y se introdujo junto con la carga abrasiva (11 esferas de aceros de 400 gr cada una) en la máquina Los Ángeles, se cerró la abertura del cilindro con su tapa, luego se reguló el número de revoluciones a 500. Finalmente, se sacó toda la muestra ya degradada de la máquina y se pasa por el tamiz número 12 (1680 micrones) de la norma ASTM, determinando el peso tanto del pasante como del retenido y de esta manera se determinó el Coeficiente de Desgaste en las muestras ensayadas.

ABERTURA DE CEDAZOS		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS						
Pasa	Retenido	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	N° 4			2500		3263		
N° 4	N° 8				5000			
Peso Total:		5000	5000	5000	5000	10000	10000	10000
N° Revoluc.		500	500	500	500	1000	1000	1000
N° Esferas		12	11	8	6	12	12	12
Peso Total de la Muestra (gr):								
Peso Retenido Tamiz N° 12 (gr):								
% de Desgaste:								
OBSERVACIONES:								
Resultado satisfactorio.								
Realizado por:								
Revisado por:								

Figura 4.10. Ensayo de Desgaste Los Ángeles. Laboratorio de agregado grueso, Instituto de los Materiales y Modelos Estructurales (IMME).





Figura 4.11. A) Trituración de la muestra; C) Tamizadora GilsonScreen, T469, modelo TM1; C) Muestra cernida; D) Máquina Los Ángeles, TiniosOlsen, N° 46452. Foto propia (2012)

#### 4.4.2.4 Etapa de oficina

La etapa de oficina consistió en el procesamiento de la información recopilada en campo y las respuestas que arrojó las muestras al análisis de laboratorio, estas fases previas permitió establecer el valor de uso del material existente en el sector Los Cogollos del municipio Nirgua, para esto se evaluó entre las alternativas existente en la actualidad para ser utilizado como árido de construcción, balasto de vía férrea o para la industria de cemento.

La toma de muestra manual sólo nos proporciona información superficial del macizo rocoso, por tanto, existe un alto grado de incertidumbre de la proyección espacial del yacimiento y de las dimensiones reales que éste posee, debido a que no se tiene información de lo que está debajo de lo que aflora. Este inconveniente se puede corregir haciendo perforaciones con recuperación de testigos, de esta manera poder obtener muestras frescas del núcleo sin alteraciones y determinar la profundidad de la mineralización entre otras cosas.

En consecuencia, sólo se logró determinar el volumen de recursos posibles calculando el volumen de material que aflora e infiriendo a través de proyecciones lo que debería esperarse debajo en el subsuelo, para esto se midió el perímetro del afloramiento y la proyección vertical.

Debido a la falta de información detallada y precisa del yacimiento se procedió a modelar escenarios de una exploración geológica de detalle, y así disminuir considerablemente el error y la incertidumbre, para determinar tan exactamente como sea posible las características de la roca que le dan valor comercial, para ello se debe hacer mayores números de ensayos de laboratorio, determinar las características del macizo rocoso por medio de sondeos y llegar a valores de reservas probadas.

La geología superficial y la identificación del patrimonio cultural presente en el cerro El Picacho, permitió establecer un criterio para el modelamiento de posibles escenarios de diseño geométrico de mina preservando el legado cultural, para esto se hizo un análisis de la legislación minera y uso de hojas cartográficas de la zona.

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la etapa de campo y de laboratorio, así mismo, se muestra el análisis realizado en las distintas etapas que permito obtener la mejor descripción y caracterización del macizo rocoso para finalmente crear posibles escenarios de extracción mineral con preservación de legado cultural con que cuenta la zona de estudios.

#### **5.1 Reconocimiento en campo**

##### **Afloramiento de calizas metamórficas**

El área de interés se encuentra en el Troncal 11, Carretera Nirgua-Chivacoa, antigua Cantera las Catas; en la localidad de Socavón, Sector Los Cogollos (coordenadas UTM 1.124.623 N; 542.509 E) y está constituido por el conjunto de rocas carbonáticas que mediante un proceso de alteración con cambios de presión y temperatura en algunos sectores llegan a ser mármol.

El afloramiento se encuentra a una altura aproximada de 800 msnm en dirección N45°W, formando un bloque continuo irregular de gran masa de roca dura con color meteorizado gris oscuro y color fresco gris claro, la longitud supera los 200 metros de extensión y posee una altura que va de 40 a 50 m aproximadamente medido desde la superficie y se caracteriza por su gran verticalidad, la inclinación con respecto a la horizontal es de 45°.

Se diferencian tres (3) sectores dentro del bloque rocoso, determinado básicamente por el color de las rocas y el grado de fracturación; el sector uno (1) localizado al sur del afloramiento (ver figura 5.1), en esta área el macizo rocoso es continuo y de color marrón a gris oscuro con presencia de oxidaciones amarillentas y naranjas en algunas zonas.

Toma de muestra P<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>  
(542.666 E; 1.124.464 N)



Figura 5.1. Vista del sector uno (1).Foto tomada por Báez (2011)

Como se muestra en la figura 5.2, el sector dos (2) se encuentra en la parte central del afloramiento y se caracteriza por ser una zona de alta fracturación. Dicha zona presenta una familia de discontinuidades (diaclasas) de alta frecuencia, representando una zona de fragilidad, con abertura moderadamente ancha y rellena en su mayoría de esquistos micáceos friables o descuempuesto. Al mismo tiempo, se observa la presencia de parches de calcita recristalizada dentro de dichas aberturas y en zonas externas, también hay pequeños puntos con oxidaciones del mismo color que en el sector uno (1).

Por último, la zona tres (3) se encuentra al norte del afloramiento el macizo rocoso es frecuentemente arenosa sobre todo en la zona de contacto entre el sector dos (2) y tres (3). En este sector existe mayor intensidad de metamorfismo y el color que presenta el material es de color marrón a gris oscuro

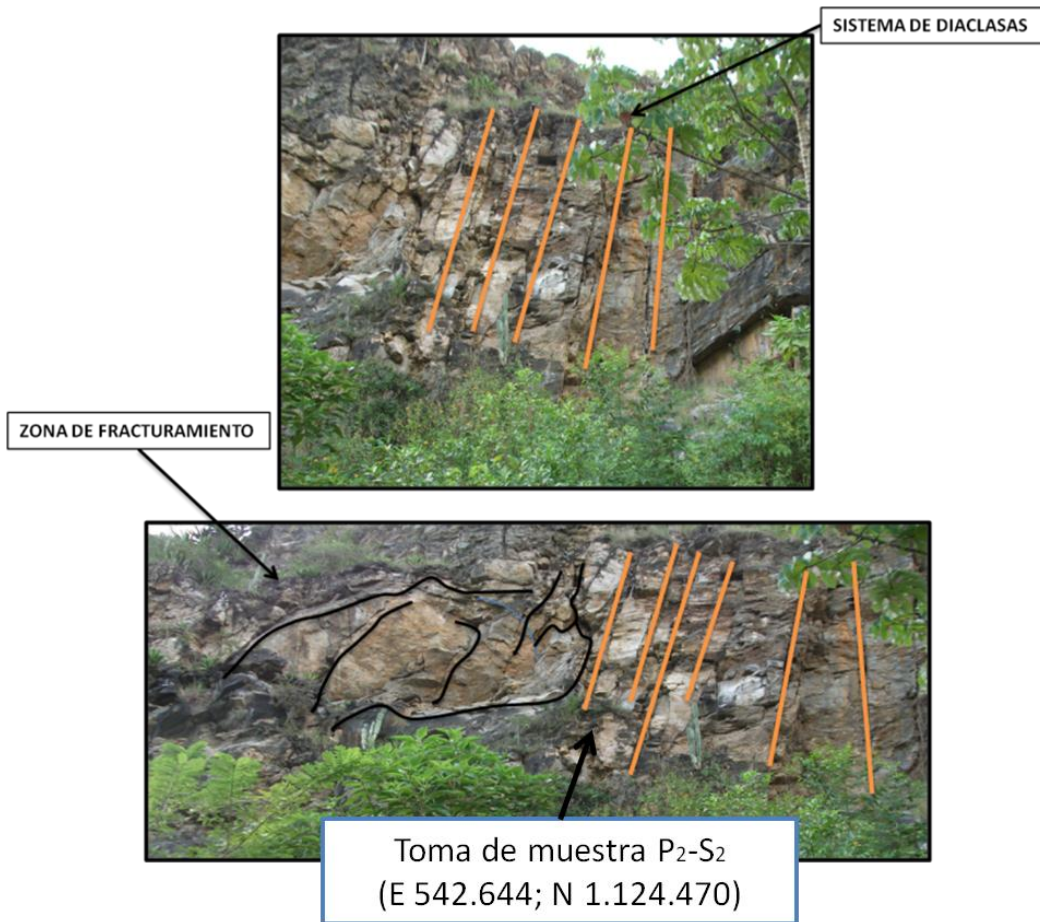


Figura 5.2. Vista del sector dos (2). Foto tomada por Báez (2011)

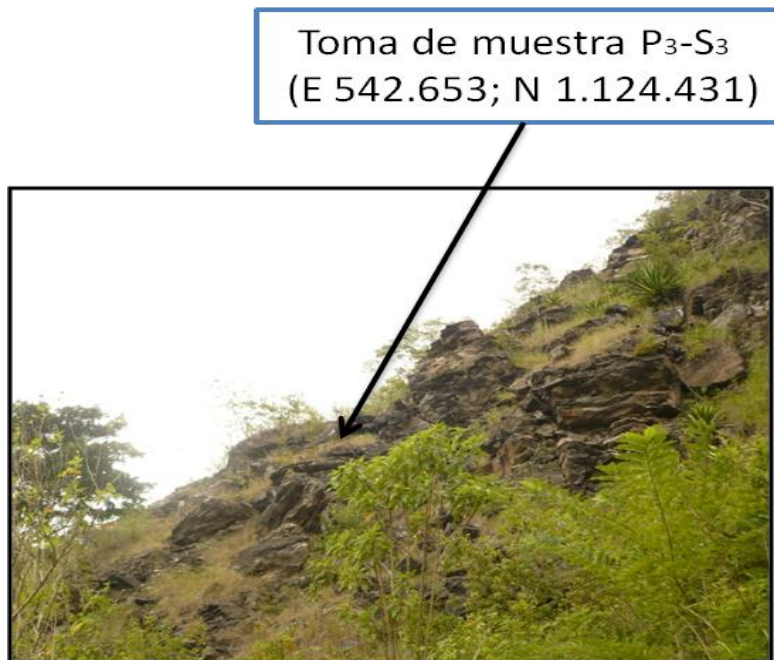


Figura 5.3. Vista del sector tres (3). Foto propia (2012)

De manera general, el afloramiento está constituido por rocas calizas metamórficas de alta resistencia y dura que presentan un color de marrón a gris oscuro con bastante uniformidad y de mármol de color gris claro. La secuencia carbonatada presenta deformaciones y discontinuidades a lo largo de todo el afloramiento, mayormente en la parte central pero sin presencia de fallas ni plegamientos de gran magnitud, se muestran indicios de barrenos de perforación y voladuras lo que indica que gran parte del material suelto y fracturado es producto de esta actividad.

### **Petroglifos de El Picacho**

El municipio Nirgua posee importantes legados culturales muy representativos como; la cruz de mayo de Temerla, la cruz del Calvario, la piedra de moler o metate, también posee colecciones de piezas arqueológicas significativas y cuenta con construcciones arquitectónicas importantes que nos relata la cultura particular del lugar. Al mismo tiempo, nos ofrece una fase evolutiva de su desarrollo o de acontecimientos históricos como el muy significativo Fuerte Real de Minas de Buría/Ruinas de San Vicente, entre ellas también se encuentra la casa de la cultura, la gruta de piedra o capilla de Tapa, la iglesia de la Divina Pastora de Salom, la plaza Bolívar, la piedra del indio, las minas de Lagunetica entre otros patrimonios.

En toda la extensión del valle de Nirgua se cuentan con numerosos grabados en piedras que representan el legado de la expresión artística, lingüística y cultural de nuestros antepasados. Los Jiraharas fueron la tribu indígena entre otras etnias mas son responsables de dejar sentada a través de tallados en rocas parte de sus vivencias, de sus costumbres, de sus perspectiva de vida, y gracias a fundaciones y grupos organizados de la región han documentado y preservado los distintos petroglifos que se encuentra en el municipio Nirgua y en el estado Yaracuy en general.

Se cuenta con petroglifos en el sector de la Florida, Tejerías, San Mateo, Campo amor, El Líbano, Los Morritos y los Petroglifos del cerro El Picacho que poseen una significación muy importante al igual que el Fuerte San Vicente en la investigación debido a la cercanía de la ocurrencia de caliza del sector Los Cogollos y que un posible plan de explotación no racional podría perjudicar severamente la integridad física de estos legado culturales que



posee la localidad. En la figura 5.4 se muestra la ubicación de los distintos petroglifos del municipio Nirgua y la cercanía que estos tienen con el afloramiento de calizas.

Por otra parte, es conveniente mencionar que existen otras alternativas de macizo rocoso dentro de la localidad de Nirgua para posible aprovechamiento de material, al norte de la carretera Nirgua-Chivacoa entre las coordenadas  $10^{\circ}10'00''$  N,  $68^{\circ}40'00''$  O y  $10^{\circ}20'00''$  N;  $68^{\circ}40'00''$  O, como lo refiere la figura 2.6 (mapa con recursos minerales del estado Yaracuy, capítulo II), se encuentra un afloramiento de calizas y mármoles de las mismas características del yacimiento del sector Los Cogollos, pertenecientes a la Formación Aroa-Nirgua, que pudiese representar una valiosa oportunidad de extracción mineral y a la vez geográficamente se aleja de los petroglifos del cerro El Picacho y de otras zonas con legados culturales, lo que sugiere la necesidad de evaluación mineral de dicho afloramiento en la búsqueda de mejores oportunidades de uso bajo en el marco del resguardo y conservación cultural de nuestros orígenes.



Figura 5.4. Ubicación geográfica de petroglifos en el municipio Nirgua, estado Yaracuy. Tomado del Atlas de Venezuela (modificado).

## 5.2 Ensayos de laboratorio

Para determinar el tipo de roca, la composición química, mineralógica y determinar los parámetros resistente del macizo rocoso se realizaron una serie de ensayos de laboratorio en las muestras recolectadas en campo de los sectores uno (1), dos (2) y tres (3), entre ellos están: Análisis petrográfico (sección fina), Fluorescencia de Rayos X (FRX), Carga Puntual y Desgaste de los Ángeles.

Por sólo tener muestras de manos no se pudo realizar mayores números de ensayos que permitieran una mejor caracterización del macizo rocoso, ya que se necesita una preparación previa y requerimientos específicos de condiciones físicas y estructurales que sólo se obtienen con núcleos de rocas. En la tabla 5.1 se especifica el tipo y número de ensayos realizados.

Tabla 5.1. Ensayos realizados

Tipo de ensayo	Número de ensayos
Petrografía (Sección Fina)	3
Fluorescencia de Rayos X	3
Carga Puntual	15
Desgaste de los Ángeles	3

### 5.2.1 Análisis petrográficos

El análisis petrográfico se realizó en las tres (3) muestras tomadas del afloramiento de caliza metamórfica de Los Cogollos, municipio Nirgua, estado Yaracuy, con la finalidad de identificar la composición mineralógica, la textura, grado de metamorfismo y establecer el nombre de la roca.

En la muestra P<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>, como lo indica la figura 5.5, existe la presencia de calcita (90%) moscovita (5%), cuarzo (2%) feldespato potásico (3%), y pequeños cristales de albita y anfíbol. Al mismo tiempo, se observó en algunas zonas orientaciones preferenciales de minerales laminales (moscovita).



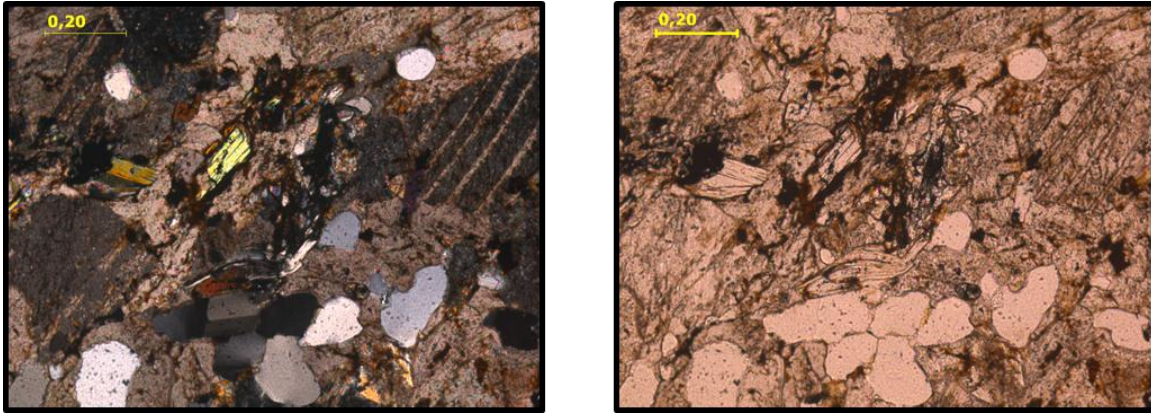


Figura 5.5. Vista general de la sección fina P1-S1, se observa la presencia de calcita, moscovita, cuarzo y ortosa. A la izquierda la vista nicol cruzado (Nc) y a la derecha nicol paralelo (Np)

La roca ha sufrido metamorfismo de medio a alto grado, en la figura 5.6 se muestra la presencia de anfíbol lo que indica que posiblemente el grado de metamorfismo de la roca de dicho sector es de la facies anfibolítica. La textura es granoblástica. Finalmente, se logró denominar el nombre en roca calco-silicatada.



Figura 5.6. Cristal de anfíbol (P1-S1), se observa el clivaje característico. Fotomicrografías NC.

La muestra P<sub>2</sub>-S<sub>2</sub> (ver figura 5.7), está compuesta de manera general por calcita maclada (90%), moscovita (5%), feldespato potásico (2%), cuarzo (2%) y circón (1%), la muestra no presenta esquistosidad y el grado de metamorfismo es medio a alto. La textura que posee la muestra es de granoblástica y el nombre establecido es mármol.

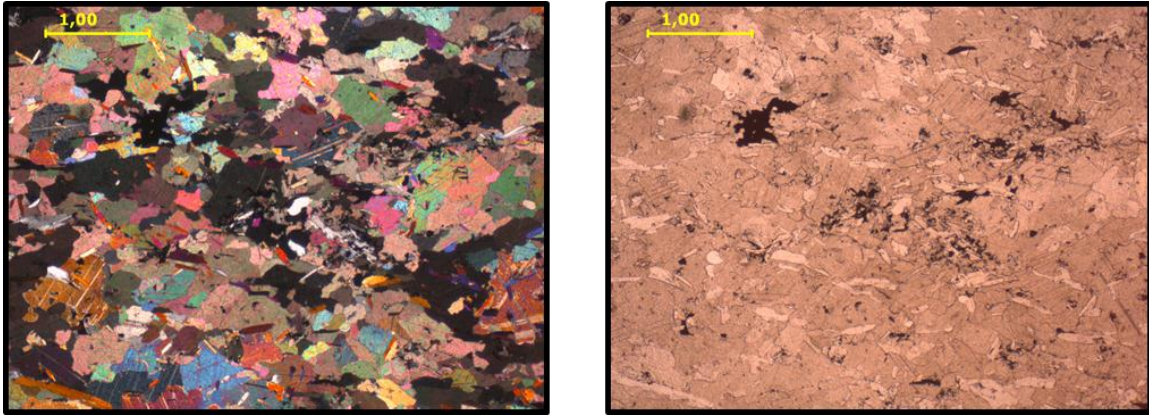


Figura 5.7. Vista general de la sección fina P2-S2, se observa la presencia de calcita, moscovita, cuarzo y ortosa. A la izquierda la vista nicol cruzado (Nc) y a la derecha nicol paralelo (Np).

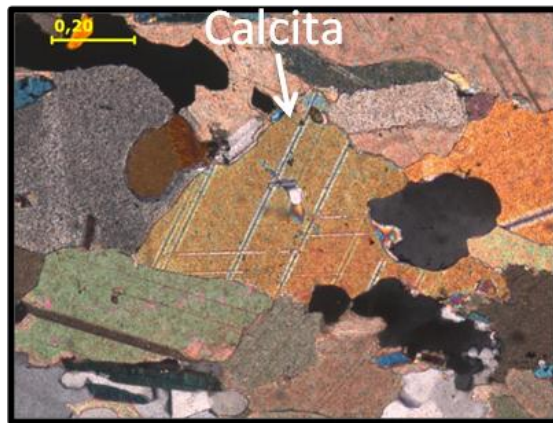


Figura 5.8. Calcita maclada (P2-S2). Fotomicrografías NC.

En la muestra P<sub>3</sub>-S<sub>3</sub>, existe la presencia de calcita (50%), clorita (20%), cuarzo (25%), moscovita (4%), y pequeños minerales de epidoto, feldespato potásico (ortosa), grafito. Presenta esquistosidad, el metamorfismo es más elevado que en las muestras de los sectores anteriores. La textura es granoblástica y se estableció el nombre en roca calco-silicatada.



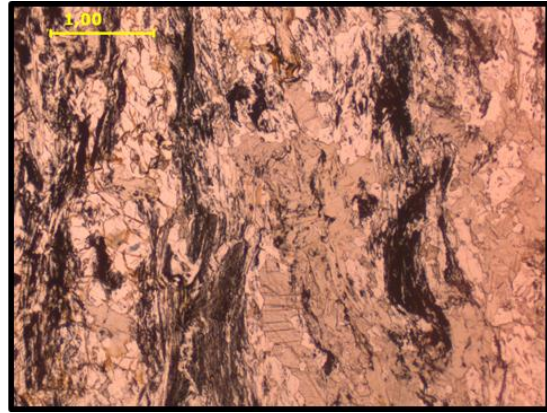
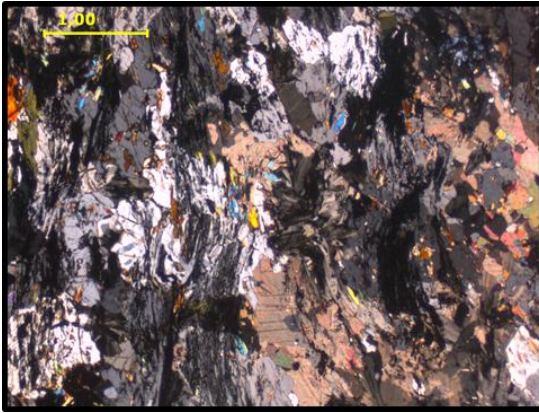


Figura 5.9. Vista general de la sección fina P3-S3, se observa la esquistosidad. A la izquierda la vista nicol cruzado (Nc) y a la derecha nicol paralelo (Np).

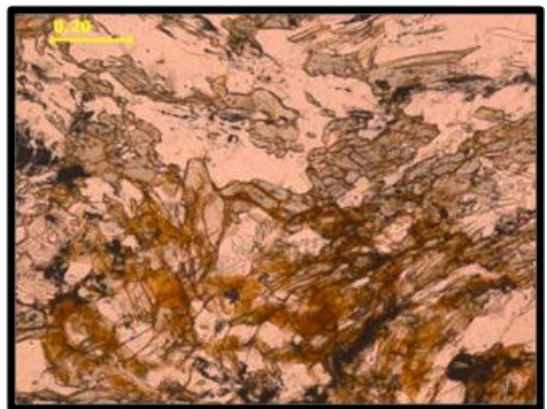
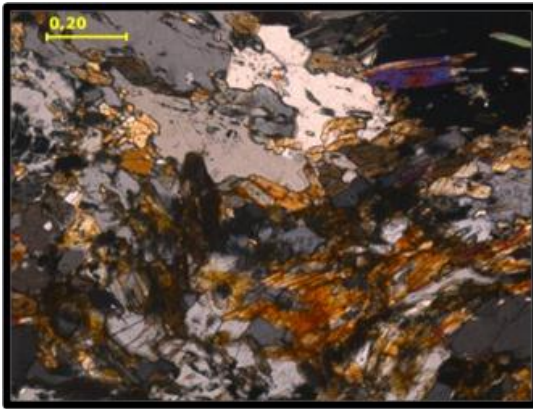


Figura 5.10. Vista de epidoto de la sección fina P3-S3. A la izquierda la vista nicol cruzado (Nc) y a la derecha nicol paralelo (Np).

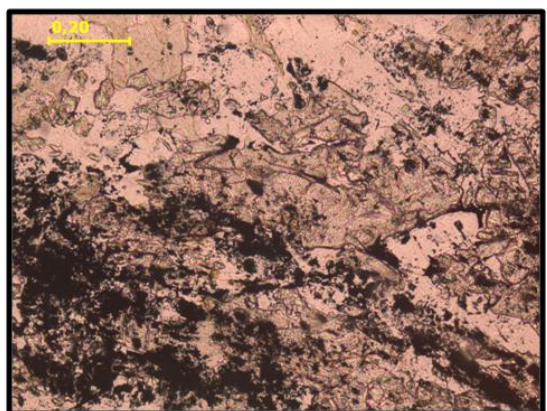
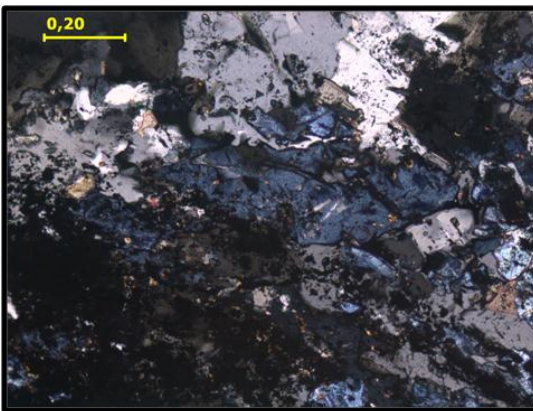


Figura 5.11. Vista de clorita de la sección fina P3-S3. A la izquierda la vista nicol cruzado (Nc) y a la derecha nicol paralelo (Np).

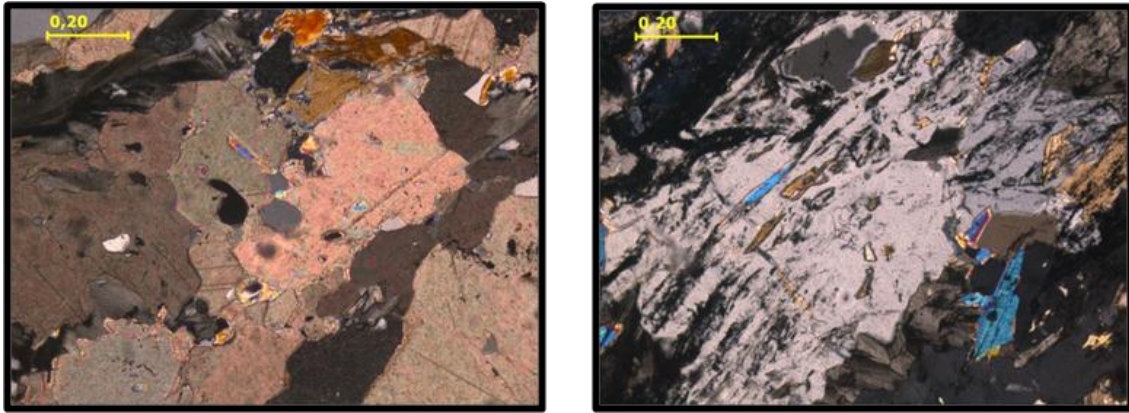


Figura 5.12. A la izquierda la vista de cristales de calcita maclada y a la derecha mineral ortosa (P3-S3) Fotomicrografías NC.

### 5.2.2 Fluorescencia de Rayos X (FRX)

La tabla 5.2 muestra la composición química que arrojó el ensayo de fluorescencia de rayos X en las distintas muestras, las cuales presentan valores muy similares en  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $MnO$  y  $TiO_2$ . De manera general, los espécimen poseen valores bajos de óxido de calcio ( $CaO$ ) y porcentajes altos en componentes silicios ( $SiO_2$ ) exceptuando la muestras  $P_2-S_2$ , que contienen 45,9 % de  $CaO$  y 17,7 % de  $SiO_2$ .

Tabla 5.2. Análisis químicos por fluorescencia de rayos X.

MUESTRA	$SiO_2$ (%)	$Al_2O_3$ (%)	$CaO$ (%)	$Fe_2O_3$ (%)	$K_2O$ (%)	$MgO$ (%)	$MnO$ (%)	$TiO_2$ (%)	$CO_2$ (%)
P1-S1	46.9	9.45	23.0	4.99	0.266	< 1	0.098	0.405	14.805
P2-S2	17.7	3.87	45.9	2.76	0.688	< 1	0.106	0.203	28.785
P3-S3	70.7	12.6	8.89	6.08	< 0,01	< 1	0.101	0.498	1.211

### 5.2.3 Ensayo de carga puntual

Para este ensayo que determina la resistencia a la compresión simple se tomaron un total de quince (15) especímenes. En la tabla 5.3, tabla 5.4 y tabla 5.5 se muestran las condiciones y resultados arrojados por el ensayo de carga puntual.

Tabla 5.3. Resultados del ensayo de carga puntual (Sector 1)

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (SECTOR 1)							
Muestra	Ancho (mm)	Diámetro Equivalente (mm)	Carga de rotura P (KN)	Dirección del ensayo	Is (MPa)	Factor de correlación	Resistencia a la compresión (MPa)
1	59.16	66.81	9.42	Diametral	2.11	1.14	51.70
2	65.99	73.3	11.55	Diametral	2.15	1.19	52.68
3	59.74	59.57	17.39	Diametral	4.9	1.08	120.05
4	50.37	53.89	9.58	Diametral	3.3	1.03	80.85
5	60.22	54.83	14.22	Diametral	4.73	1.04	115.89

Tabla 5.4. Resultados del ensayo de carga puntual (Sector 2)

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (SECTOR 2)							
Muestra	Ancho (mm)	Diámetro Equivalente (mm)	Carga de rotura P (KN)	Dirección del ensayo	Is (MPa)	Factor de correlación	Resistencia a la compresión (MPa)
6	93.25	90.94	10.83	Diametral	1.31	1.31	32.10
7	54.18	58.48	15.15	Diametral	4.43	1.07	108.54
8	76.25	93.5	30.95	Diametral	3.54	1.33	86.73
9	104.75	92.75	28.30	Diametral	3.29	1.32	80.61
10	102.1	84.48	20.34	Diametral	2.85	1.27	69.83

Tabla 5.5. Resultados del ensayo de carga puntual (Sector 3)

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (SECTOR 3)							
Muestra	Ancho (mm)	Diámetro Equivalente (mm)	Carga de rotura P (KN)	Dirección del ensayo	Is (MPa)	Factor de correlación	Resistencia a la compresión (MPa)
11	108.78	98.46	45.56	Diametral	4.7	1.36	115.15
12	76.93	86.6	24.30	Diametral	3.24	1.28	79.38
13	66.97	66.87	10.55	Diametral	2.36	1.14	57.82
14	78.69	88.79	20.81	Diametral	2.64	1.29	64.68
15	84.94	95.9	14.35	Diametral	1.56	1.34	38.22

El sector dos (2) y tres (3) presentaron mejor homogeneidad en los valores de Is. Esto se puede corroborar fácilmente observando la figura 5.13 del gráfico de resistencia a la compresión simple, donde el valor medio de Is se estableció en 3.1 Mpa, el límite superior es 3.8 Mpa y el límite inferior 2.3 Mpa. Seis (6) de las diez (10) muestras ensayadas en estos sectores (1 y 2) poseen valores de resistencia dentro de la nube de valores que encierran los mencionados límites.

El sector uno (1) posee valores de resistencia a la compresión simple muy dispersos, presenta valores muy elevado perteneciente a rocas duras, al mismo tiempo muestra valores muy bajos que corresponde a roca muy meteorizada o descompuesta, lo que inmediatamente obliga a descartar dichos valores.



De manera general se puede establecer que los valores de resistencia a la compresión simple en el afloramiento de Los Cogollos está: de 76 Mpa como valor medio, 93 Mpa como valor máximo y de 56 Mpa como valor mínimo, permitiendo clasificar como roca media a dura.

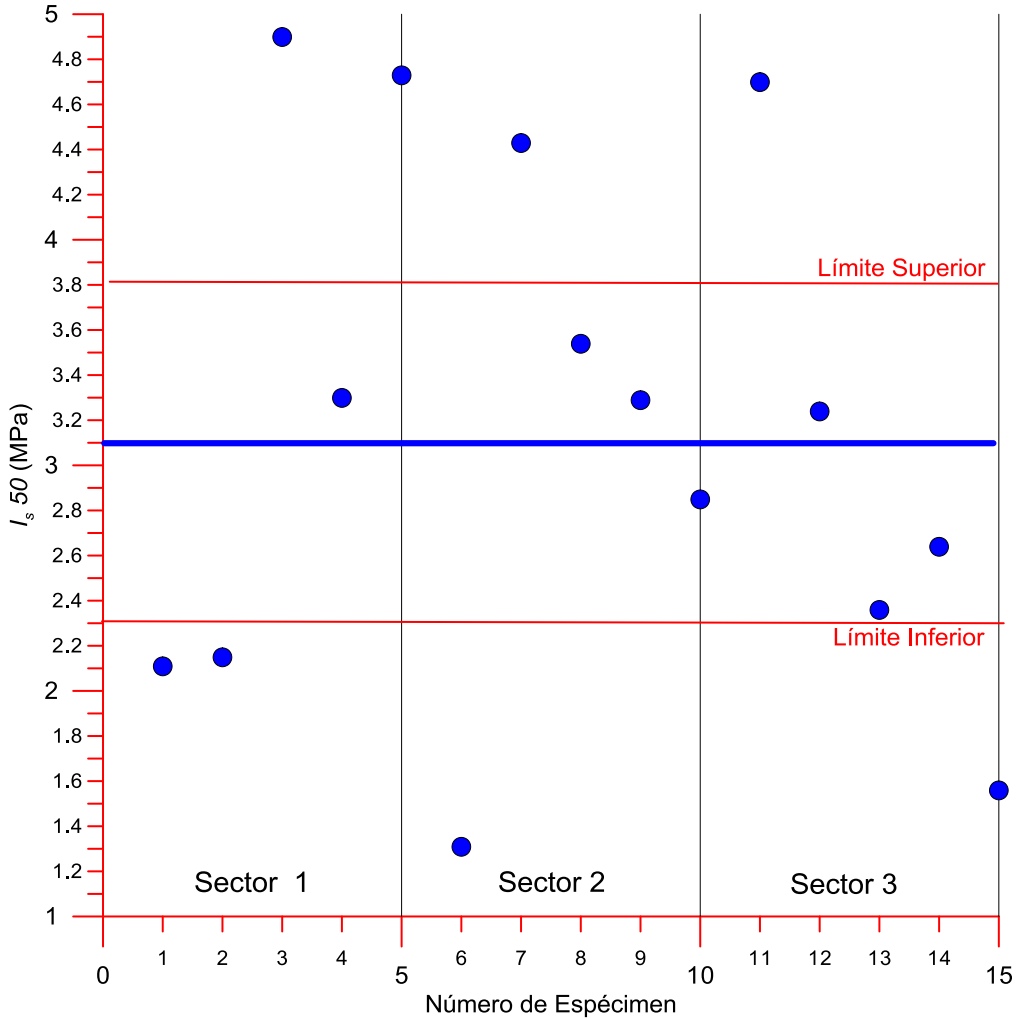


Figura 5.13. Resistencia a la compresión simple medida en las muestras del sector uno (1), sector dos (2) y sector tres (3).

**5.2.4 Desgaste de los Ángeles**

Como se indica en la tabla 5.6 las muestras ensayadas contienen un porcentaje de desgates inferior al 50%, lo que inmediatamente clasifica al material como árido de buena calidad. El porcentaje de desgaste promedio en las muestras en de 37,33 %, siendo la muestra P<sub>3</sub>-S<sub>3</sub>

la que mantiene mejor resistencia al desgaste con un 70% de su peso retenido en el tamiz N° 12.

Tabla 5.6. Resultados del ensayo de desgaste de los Ángeles

MUESTRA	PESO TOTAL DE LA MUESTRA (gr)	PESO RETENIDO TAMIZ N° 12 (gr)	% DE DESGASTE
P1-S1	5000	3150	37
P2-S2	5000	2750	45
P3-S3	5000	3500	30

### 5.3 Valor de uso del material

La explotación de calizas en Venezuela se vincula directamente a la construcción civil, para esto la roca es cortada en diferentes formas y tamaños siendo utilizada como agregado de construcción, concreto, vialidad, urbanismo y principalmente en la industria del cemento.

Lo que se refiere a la fabricación de cemento consiste en una mezcla finamente molida que contiene elementos calcáreos, componentes ricos en alúmina, componentes silíceos y componentes ferruginosos. El 75% de la composición del cemento Portland es óxido de calcio CaO y 25% de minerales arcillosos, siendo la caliza la roca más importante ya que proporciona el óxido de calcio (CaO), la arcilla proporciona SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; se puede agregar arenisca o arena, o mineral de hierro para compensar la diferencia en SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

La caliza metamórfica de Los Cogollos posee una composición baja de CaO lo que instantáneamente descarta la posibilidad de poder ser utilizada en la industria cementera. Por otra parte, contiene valores intermedios de resistencias a la compresión simple y bajo porcentaje de desgaste como se demostró en los ensayos lo que lo hace un material bastante útil como árido de construcción. Sus características físicas lo hace apto para la construcción firme, sin embargo, su aplicación no puede ser destinada a soportar tráfico pesado como es el caso de material de balasto de vía férrea ya que se desgasta por encima del 20%.

### 5.4 Cálculo de recursos probables

Haciendo uso de la herramienta informática ARCGIS<sup>R</sup> 9, se georreferenció las coordenadas UTM tomados en campo de los puntos que rodea el perímetro del afloramiento (ver tabla 2.1, capítulo II).

Los puntos del polígono que encierra la masa rocosa se muestra en la figura 5.14 de color amarillo y forma un área de 2023,569838 m<sup>2</sup> y una extensión de 200, 805888 m, la altura del afloramiento es de 50 m lo que representa un volumen de 101178,4919 m<sup>3</sup> de material expuesto.

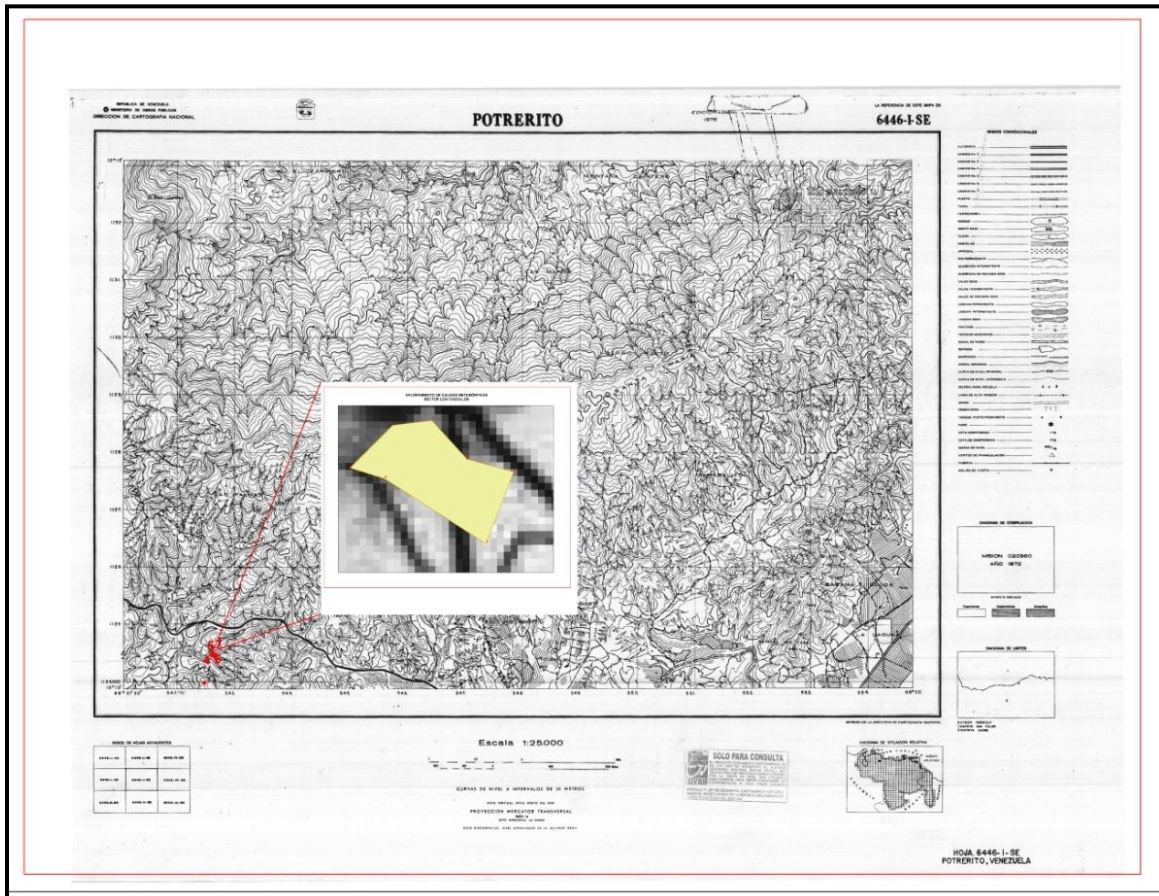


Figura 5.14. Vista relativa del afloramiento de calizas. Hojas cartográficas a escala 1:25.000 del I.G.V.S.B del año 1994; 6446-I- SE. Elaboración propia

## 5.5 Exploración geológica de detalle

La programación de prospección y exploración geológica de detalle busca la precisión de las informaciones que se refieren al yacimiento, lo que son las estructuras geológicas, composición mineralógica, continuidad y uniformidad de la mineralización, estructurageométrica del yacimiento, estimación del volumen de reservas y grado de explotación de las mismas. Esto permite la cuantificación del tonelaje y la calidad del mineral, llegando a conocer con certeza si el proyecto es económicamente rentable.



Para dicha tarea se dividió en tres fases o categorías de trabajo según la disciplina, como se indica en la tabla 5.7. Se sugiere que la exploración se inicia con la identificación de la zona con alto potencial, descripción de las condiciones y características generales del afloramiento, seguidamente se debe hacer un levantamiento topográfico que involucre la medición de puntos y ángulos tanto en vertical como horizontal de todo el afloramiento, replanteo de datos geográficos para cartografiar dichas mediciones topográficas, paralelamente se trabaja con el levantamiento geológico en campo con el objetivo de conocer las propiedades y características geotécnicas de los masa rocosa que involucra descripción litológica y composición mineralógica a escala regional y local, muestreo de rocas para su análisis y ensayos de laboratorios.

Finalmente, con la información básica del afloramiento, conociendo cada uno de sus componentes: rocas, suelos, zonas con agua, discontinuidades singulares se procede a hacer la evaluación del yacimiento midiendo los parámetros geométricos y geológicos del cuerpo mineralizado, planificación y diseño del mallado de perforación exploratoria para ello se sigue el replanteo y ejecución de perforaciones con recuperación de testigos (mínimo 100 mlp - máximo 300 mlp) para la realización de ensayos de laboratorios, establecer profundidad de la mineralización y cálculo del volumen de reservas.

Tabla 5.7. Programa de actividades a realizar en exploración geológica de detalle

Levantamiento de información topográfica			
Topografía		N° de Persona	Tiempo
Medición de puntos y/o relevamiento, en horizontal y vertical		2 Técnico en Topografía y ayudante	2 semanas
Medición ángulos horizontales, ángulos verticales y distancias por medio de la Estación Total			
Replanteo de datos geográficos de registros bibliográficos			
Cartografiar mediciones topográficas y ubicaciones arqueológicas			
Levantamiento de información geológica (campo, oficina y bibliotecas)			
Geología		N° de Persona	Tiempo
Litología y composición mineralógica, escala regional		2 Geólogo (a) e Ingeniería de Minas	1 semana
Planificación y diseño de reconocimiento geológico			
Reconocimiento geológico en campo, escala local			
Muestreo del macizo rocoso para ensayos de laboratorio			
Cartografiar datos y resultados de estudio geológico minero			
Evaluación del yacimiento mineral			
Evaluación		N° de Persona	Tiempo
Parámetros geométricos y geológicos del cuerpo mineralizado		2 Geólogo (a) e Ingeniería de Minas	2 semanas
Planificación y diseño de malla de perforaciones exploratorias			
Replanteo y ejecución de perforaciones con recuperación de testigos (mínimo 50mlp - máximo 100mlp, lineales)			
Ensayos de laboratorio: Secciones finas para análisis petrográfico, Desgaste de Los Ángeles, Carga Puntual, Compresión sin confinar, Determinación de peso específico, Peso Unitario, Tracción Indirecta			2 semanas
Cálculo de reservas: volumen, calidad y clasificación de usos			2 semanas

### 5.5.1 Programa evaluador de recursos minerales mediante perforaciones

Para el afloramiento de calizas metamórfica de Los Cogollos se sugiere la evaluación del yacimiento con exploración geológica de detalle que involucre la el análisis de los recursos minerales en el subsuelo, para ello se puede utilizar como se mencionó anteriormente un programa de perforación del tipo diamantífero y de rotación-percusión con recuperación de testigos que busca el cálculo de reserva como objetivo principal. Al mismo tiempo, se cuantifica y se determina la calidad del material a extraer permitiendo realizar los estudios de factibilidad minera, tomando en consideración los factores tecnológico, geológico, económicos del proyecto y así obtener el sistema de explotación óptimo a realizar en el yacimiento.

Con núcleos de rocas como muestras nos permite hacer un análisis petrográfico más certero ya que la sección fina no ha sufrido alteraciones por los agentes erosivos y meteorizantes,

lográndose un análisis químico y mineralógico preciso. Paralelamente, se abre una amplia gama de posibilidades de realizar ensayos de laboratorio y hacer una clasificación geomecánica del macizo rocoso y así establecer con exactitud el valor de uso industrial del material, entre los ensayos a realizar están: Densidad, Absorción, Resistencia a la tracción, Corte, Ensayo de compresión inconfiada, Determinación del peso específico, Cálculo de índice de Schimazek, Tracción indirecta, Peso unitario, entre otros más.

### **5.6 Escenario de diseño geométrico de mina preservando el legado cultural**

El proceso de evaluación aplicado al yacimiento mineral no metálico de Los Cogollos, permitió establecer un posible valor de uso del material, árido de construcción es la opción más factible. Sin embargo, el mineral no posee las mejores propiedades de resistencia al desgaste para cualquier aplicación dentro de la industria de construcción civil, descartándose la posibilidad de ser utilizado como balasto de vía férrea, en consecuencia, si se desea extraer dicho mineral a pesar de no tener el volumen de recursos preciso, ni análisis de laboratorios más amplios se debe realizar con un alto grado de racionalidad ambiental y patrimonial hacia la conservación del legado cultural existente en toda la zona de estudio, tomando en consideración todos los aspectos técnicos mineros que puedan afectar la preservación física e histórica de los mencionados yacimientos arqueológicos culturales.

La operadora minera encargada de hacer la extracción mineral debe aplicar un diseño geométrico de mina que apunte hacia la conservación ambiental y cultural como prioridad, las alturas de bancos deben ser el mínimo recomendado y el patrón de voladura con explosivos debe atender y ajustarse a las necesidades del legado cultural presentes en la localidad.

Si a pesar de los factores antes mencionados se desea ejecutar la extracción mineral se plantea escenarios de diseño geométrico de mina preservando el legado cultural, que involucra; sistema de planificación minera, método de explotación, producción, perforación y voladura, carga, transporte y tratamiento mineral.

### **5.6.1 Sistema de planificación minera**

La elaboración y puesta en marcha de una mina consta de numerosas actividades a ejecutar como, la escogencia del método de explotación más óptimo bajo los parámetros del desarrollo sustentable, dimensiones geométricas de mina, ritmo de producción a corto, mediano y largo plazo, se debe tener información precisa de la calidad del mineral y así establecer cuál será la secuencia de extracción.

Es necesario conocer las propiedades geomecánica del macizo rocoso, los factores económicos, las condiciones sociales y cuáles son las limitaciones ambientales existentes en la zona entre otras cosas. Además, se debe tener información de las siguientes características propias del yacimiento:

- ✓ Tipo de mineral
- ✓ Ubicación
- ✓ Tamaño
- ✓ Forma
- ✓ Topografía
- ✓ Profundidad del cuerpo mineral
- ✓ Complejidad, calidad y distribución de la mineralización
- ✓ Características del macizo rocoso
- ✓ Calidad de la información de las reservas

### **5.6.2 Método de explotación**

El sistema de explotación recomendado para la extracción del mineral es de minería a cielo abierto debido a su localización y emplazamiento superficial, lo que se conoce como cantera que es un término que se aplica al aprovechamiento de rocas ornamentales e industriales como es el caso de la caliza entre otras. Por lo general, en este método de explotación se aplica el banqueo de uno o varios niveles de acuerdo a la altura que posee el yacimiento.

Debido a las características geométricas propias de la ocurrencia mineral en el sector Los Cogollos con alturas que van entre 40 a 50 metros y de inclinación mayor a 45°, se recomienda trabajar en bancos descendiente de 8 metros de altura aproximadamente y con buzamiento entre 45° con respecto a la horizontal, esto permitirá una operación segura y una amplia comodidad, garantizando el ancho mínimo de operación para las labores de los equipos de perforación y para los equipos de carga respetando el factor de seguridad necesario para que el aprovechamiento se haga de manera correcta.

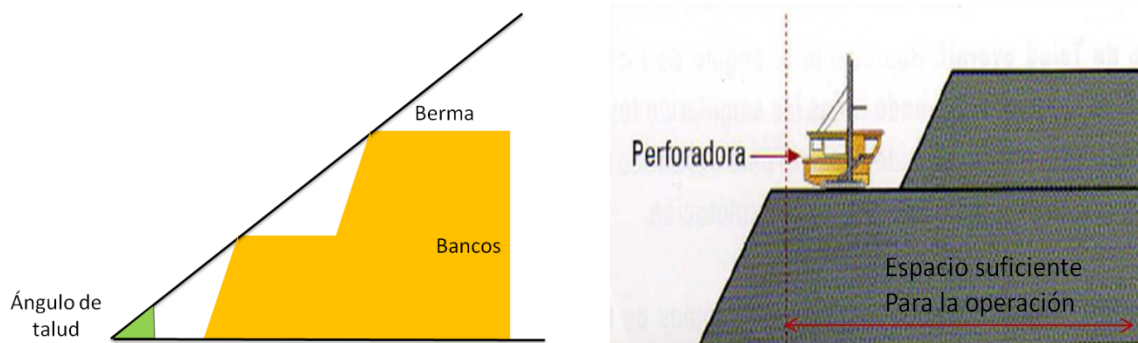


Figura 5.15. Configuración de mina; ángulo de talud, bancos y berma (izquierda) 2- Ancho mínimo de operación (derecha) Tomado de Portal Minero (2008) modificada

### 5.6.3 Producción

En la explotación de caliza es muy común que se utilice un sistema discontinuo en las operaciones mineras de arranque, carga y acarreo, es decir, en fases separadas. Debido a la competencia que posee la caliza de Los Cogollos un material bastante duro a pesar de la geología estructural y de los sistemas de fracturas presentes, el arranque se debe hacer a través de perforación y voladura.

La actividad de perforación consiste en hacer una cavidad bien definida en la roca que será removida, para ello se debe hacer una programación del mallado de perforación, posicionamiento de los equipos y cargar los barrenos con la cantidad de explosivos necesarios y no generar una sobre trituración del material. El disparo de la voladura es la acción que busca fragmentar la roca de tal manera que quede de un tamaño lo suficientemente pequeño, por lo general menor a 1 metro de diámetro, posteriormente se debe acumular las rocas dispersa producto de la voladura para ser cargada y transportada bien sea a los botaderos o a la planta de trituración.

Lo que medio ambiente se refiere, el proceso de voladura generan problemas de vibraciones, ruido y generación de polvo en suspensión, lo cual debe ser controlado para no perturbar las zonas aledañas y en especial los petroglifos del cerro El Picacho.

La fase de producción propiamente dicha consiste en cargar el material útil y transportarlo hasta la planta de trituración, para esta fase se utiliza equipos como cargadores frontales y camiones roqueros cuyas dimensiones y capacidades de producción dependerá estrictamente de la planificación de producción y de la secuencia de explotación estimada.

La configuración de una pista de transporte por donde circulara los equipos de carga y transporte de material se muestra en la figura 5.16 A, e implica la construcción de zanjas, cunetas y bermas de seguridad que se diseñan en función de la probabilidad de que ocurra algún siniestro geotécnico. Las rampas y las vías de accesos (figura 5.16 B) son los caminos en pendiente que permitirá el tránsito de equipos desde la superficie a los diferentes bancos de extracción, por lo general se utiliza un ancho útil de 25 metros y de esta manera se garantiza la circulación de camiones de grandes capacidades.

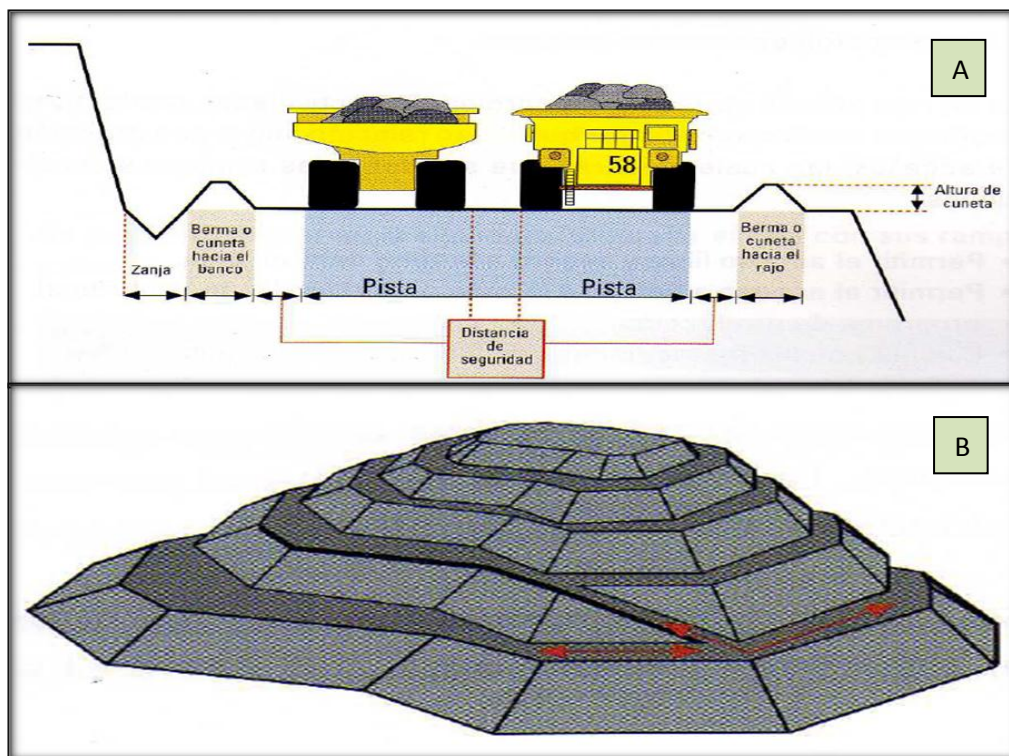


Figura 5.16. A) Configuración de una pista de doble vía (arriba). B) Rampas y vías de accesos en una Cantera (abajo). Tomado de Portal minero, MGMM (2008)

### 5.6.4 Perforación y voladura

El macizo rocoso aflorante en Los Cogollos posee una resistencia de roca media a dura, la clasificación de macizo rocoso hecha en campo así lo confirma, posee una resistencia a la compresión simple o uniaxial que oscila entre 56 y 93 Mpa un material muy resistente ya que requirió de varios golpes del martillo para poder fracturarla. Además, la clasificación de las muestras según el estado físico es de RMds (roca meteorizada dura sana) y RMdf (roca meteorizada dura fracturada) en la mayoría de los casos, donde el grado de meteorización es solo decolorada.

El ensayo de carga puntual arrojó un valor promedio de resistencia a la compresión de 77 Mpa para las muestras ensayadas corroborando lo analizado en campo y a su vez esto nos permite clasificar la excavabilidad del material en función a su resistencia como se muestra en el ábaco de la figura 5.8, por estas razones se recurre a la perforación y voladura como método de arranque mineral y consiste en realizar perforaciones en el frente de excavación, colocar explosivos y hacerlos detonar, de manera controlada, evitando daños excesivos a la roca circundante.

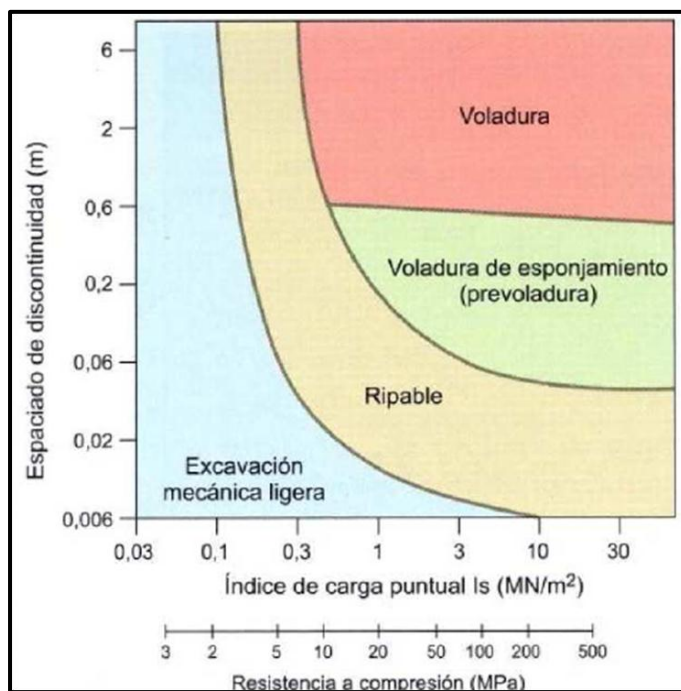


Figura 5.17. Clasificación de rocas según su excavabilidad. Franklin (1974)

#### **5.6.4.1 Parámetros de diseño**

Los parámetros de diseños del patrón de voladura se debe realizar atendiendo el entorno que rodea a la explotación minera, ya que las vibraciones producto de la voladura producen ondas sísmicas que podrían alcanzar velocidades picos de hasta 2000 – 2500m/s pudiendo ocasionar daños severos a las estructuras aledañas a la explotación como los petroglifos del cerro El Picacho o de la estructura del Fuerte San Vicente que representan hechos de gran relevancia patrimonial de la región, además de traer posibles inconvenientes en la actividad misma, de sobreexcavación y problemas de estabilidad en los taludes.

#### **Diámetro del barreno**

Las dimensiones del barreno según la resistencia de la roca y la producción horaria se obtienen por la tabla 3.1. Por ser una roca dura se sugiere un diámetro de barreno de 65mm lo que a su vez proyecta una producción horaria de 60 m<sup>3</sup>/h, se recomienda dicho valor de diámetro debido a que la energía de las ondas vibratoria es proporcional a la cantidad de explosivos, en consecuencia, a menor diámetro de barreno menor energía vibratoria lo que representa una medida de seguridad en el resguardo del entorno que rodea a la actividad minera. Se debe contar con la disponibilidad física de una perforadora cuyo diámetro de barreno sea de 2 ½" (64mm), para efecto de cálculo se tomara ese valor de diámetro como aspecto de estandarización.

#### **Retiro (B)**

La distancia más corta a la cara libre en una malla de perforación se obtiene mediante la tabla 3.5 y es 35 veces el diámetro del barreno para roca dura.

$$B = 35 \times D$$

$$B = 35 \times 64mm \times \frac{1m}{1000mm}$$

$$B = 2,24m \rightarrow \textit{se aproxima a 2m}$$



### **Espaciamiento (S)**

La distancia más larga entre barrenos de una misma fila en una malla de perforación es 1.15 veces el retiro para roca dura según el I.T.G.E (1994).

$$S = 1,15 \times B$$

$$S = 1,15 \times 2m$$

$$S = 2,3m$$

### **Retacado (T)**

La longitud del material inerte que se usa para confinar los gases generados por la carga, también llamado taco se obtiene por medio de la tabla 3.5 y es 32 veces el diámetro del barreno.

$$T = 32 \times D$$

$$T = 32 \times 64mm \times \frac{1m}{1000mm}$$

$$T = 2,05m \rightarrow \text{se aproxima a } 2m$$

### **Sobreperforación (J)**

La longitud del barreno por debajo del nivel del piso que se necesita para romper la roca a la altura del banco es 30% de la longitud del retiro y es debido que la rotura en el fondo del barreno se produce en forma de cono invertido con un ángulo con la horizontal dependiendo de la estructura del macizo y de las tensiones residuales, normalmente está entre 10° y 30°. El valor de la sobreperforación se puede obtener de la formula:

$$J = 0,30 \times B$$

Por tanto la sobreperforación es:

$$J = 0,30 \times 2m$$

$$J = 0,6m$$

### Longitud del barreno

La longitud de perforación realizada en el área a volar definida por la altura del banco. Donde la altura de banco para la explotación se estableció en de 8 metros y el ángulo con respecto a la vertical  $\beta$  se toma en  $30^\circ$  ya que los equipos actuales de perforación permiten inclinaciones en la torre hasta ese valor.

$$L = \frac{H}{\cos \beta} + 1 - \frac{\beta}{100} \times j$$

$$L = \frac{8 \text{ m}}{\cos 30^\circ} + 1 - \frac{30^\circ}{100} \times 0,6\text{m}$$

$$L = 10,06\text{m}$$

### Carga de fondo

La carga concentrada en el fondo del barreno responsable de romper el pie del banco debe poseer la longitud y distribución adecuada por tanto, suele emplearse explosivos de gran densidad como la emulsión combinada con un booster como cebado iniciador de la detonación. Los cálculo que se presenta a continuación se basan en una carga específica de  $0.4\text{kg/m}^3$  de Emulsión Magnafrac como carga de fondo con densidad  $\rho=1,50\text{gr/cm}^3$  para diámetro de perforación de 64mm para roca dura e inclinación de barreno de 2:1

- Concentración de la carga de fondo [l b ] (kg/m)

$$B_{\text{máx}} = 1,45 \times \sqrt{Lb} \rightarrow Lb = \left( \frac{B_{\text{máx}}}{1,45} \right)^2$$

$$B_{\text{máx}} = \frac{d}{33} \sqrt{\frac{p \times s}{\bar{c} \times f \times S/B}}$$

$$B_{\text{máx}} = \frac{64\text{mm}}{33} \sqrt{\frac{1,50 \text{ Kg/dm}^3 \times 0,95}{1,15 \times 0,85 \times 1,15}}$$

$$B_{\text{máx}} = 2,18\text{m}$$

$$Lb = \left( \frac{2,18\text{m}}{1,45} \right)^2$$

$$L_b = 2,27 \text{ Kg/m}$$

- Altura de la carga de fondo [ $h_b$ ] (m)

$$h_b = 1.3 \times B_{m\acute{a}x}$$

$$h_b = 1,3 \times 2,18m$$

$$h_b = 2,83m, \text{ se aproxima a } 3m$$

- Peso de la carga de fondo del barreno [ $Q_b$ ] (kg)

$$Q_b = L_b \times h_b$$

$$Q_b = 2,27 \text{ Kg/m} \times 3m$$

$$Q_b = 6,81 \text{ Kg}$$

### **Carga de columna**

La carga de explosivo que esta sobre la carga de fondo, que constituye la columna explosiva responsable de superar la resistencia de tracción de la roca y así fracturar la roca está compuesta de explosivos de baja densidad cuya energía específica es 2 a 3 veces menor que la de los explosivos del fondo del barreno, por lo general se utiliza ANFO que es un agente de voladura a base de nitrato de amonio y fuel oil.

- Concentración de la carga de columna [ $L_c$ ] (kg/m)

$$L_c = 40 \text{ a } 60 \% \text{ de } L_b$$

$$L_c = 0,60 \times 2,27 \text{ Kg/m}$$

$$L_c = 1,36 \text{ Kg/m}$$

- Altura de la carga de columna [ $h_c$ ] (m)

$$h_c = H - h_b - T$$

$$h_c = 8m - 3m - 2m$$

$$h_c = 3m$$

- Peso de la carga de columna [ $Q_c$ ] (kg)

$$Q_c = L_c \times h_c$$

$$Q_c = 1,36 \text{ Kg/m} \times 3 \text{ m}$$

$$Q_c = 4,08 \text{ Kg}$$

➤ Peso total de carga por barreno. [  $Q_{total}$  ] (kg)

$$Q_{total} = Q_b + Q_c$$

$$Q_{total} = 6,81 \text{ Kg} + 4,08 \text{ Kg}$$

$$Q_{total} = 10,89 \text{ Kg}$$

Tabla 5.8 Parámetros de diseño de la voladura

PARÁMETROS DE DISEÑO		VALOR	
Diámetro de barreno (D)		64 mm	
Retiro (B)		2 m	
Espaciamiento (S)		2,3 m	
Retacado (T)		2 m	
Sobreperforación (J)		0,6 m	
Longitud de barreno (L)		10,06 m	
DISEÑO DE CARGA			
Carga de fondo		Carga de columna	
Parámetros	Valor	Parámetros	Valor
Bmáximo	2,18 m	Concentración de carga ( $L_c$ )	1,36 Kg/m
Concentración de carga ( $L_b$ )	2,27 Kg/m	Altura ( $H_c$ )	3m
Altura ( $H_b$ )	3 m	Peso de carga ( $Q_c$ )	4,08
Peso de carga ( $Q_b$ )	6,81 Kg	Carga Total ( $Q_{total}$ )	10,89 kg

### Técnicas de reducción de las vibraciones

Se debe crear un esquema de perforación y voladura equilibrada, de calidad empleando los criterios y fórmulas de cálculo internacionalmente más usadas para llegar a un diseño que este ajustado al arranque y fragmentación deseada de la roca con secuenciadores y con escasas vibraciones para resguarda la integridad del entorno que rodea a la explotación. Para ello se mencionan a continuación una serie de técnicas de reducción de vibraciones en voladuras:

- ✓ La reducción del diámetro de perforación de los barrenos.
- ✓ La reducción de la altura de banco en la excavación.
- ✓ Si la altura de banco está definida de antemano en una explotación o el diámetro de perforación es fijado por la maquinaria disponible o por los niveles de producción requeridos, es posible llevar a cabo el seccionado de cargas dentro de un barreno, haciéndolas detonar en tiempos distintos.
- ✓ Una herramienta imprescindible para lograr la reducción de la carga operante es el empleo de detonadores secuenciadores, que permiten la detonación de todas y cada una de las cargas que componen una voladura en un tiempo distinto.
- ✓ Ajustar la secuenciación a las frecuencias predominantes del terreno focalizando el tren de ondas en el sentido inverso a la posición de la estructura.
- ✓ Aprovechar las caras libres de los bancos, orientando la salida de la voladura de tal manera que las vibraciones viajen preferentemente en sentido contrario a la posición de la estructura a preservar.

### **5.6.5 Equipos de carga y acarreo de mineral**

Las operaciones de carga y transporte de mineral constituyen una de las actividades básicas en la minería, por lo que una buena escogencia de estos equipos permitirá el mejor aprovechamiento del recurso y para ello debe existir una compatibilidad física muy estrecha entre ambos. Las características de diseño, el tipo de explotación, la tasa de producción estipulada son algunos de los factores que intervienen en la escogencia de estos equipos, la inversión que se hace en esta etapa por lo general es elevada tomando en consideración la adquisición inicial y el mantenimiento mecánico al que está sometido periódicamente estas maquinarias para un buen rendimiento de las mismas.



Figura 5.18. Equipos de carga (cargador frontal Caterpillar) y acarreo (camión Caterpillar). Tomado de Tópicos de Ingeniería en Minas a Rajo Abierto.

Durante las operaciones de carga y transporte de mineral se producen algunos problemas que hay que tomar en consideración como el levantamiento de polvo en la carga, descarga y transporte de los materiales, generando suspensión de partículas en el aire perturbando al medio ambiente y a su vez puede provocar una disminución de los rendimientos en los equipos al disminuir la visibilidad del operador y con el consiguiente riesgo que implica no disponer de una buena visibilidad por lo que es necesario mitigar y corregir estos inconvenientes.

### **Selección de equipo de carga**

Para las labores de carga de material se seleccionan equipos en movimiento sobre ruedas ya que permiten que el operador tenga una amplia y mejor maniobrabilidad, por tanto, las operaciones en el ciclo de carga es más desarrollado y es la opción recomendada. Se escogen equipos sobre rueda como los cargadores frontales debido a su versatilidad y mayor independencia en bancos con alturas de 8 metros, además que para barrenos con diámetros entre 65 a 90 mm se ajusta muy bien como lo indica la tabla 5.7, además su costo capital es más bajo con respecto a las palas para una capacidad de producción equivalente.

Las características de diseño de los equipos como la capacidad del cucharón dependerán de la escogencia de los equipos de acarreo, debido a que debe existir un equilibrio para que el llenado se haga con el número de paladas efectivas.



Figura 5.19. Cargador frontal, CAT 994 (cortesía de Caterpillar)

Tabla 5.9 Equipo de carga según la altura de banco vs diámetro del barreno

ALTURA DE BANCO H (m)	DIÁMETRO DEL BARRENO (mm)	EQUIPO DE CARGA RECOMENDADO
8 - 10	65 - 90	Cargador Frontal (Pala de Ruedas)
10 - 15	100 - 150	Excavadora Hidráulica o de cables

Tomado de I.T.G.E. (1994) "Manual de Perforación y Voladura de Rocas"

Para las labores auxiliares de mantenimiento de vías, compactación del terreno, remoción de estéril y material suelto se recomienda equipos de apoyos como tractores y motoniveladora cuyas dimensiones puede ser más discreta debido a la funcionalidad a la que se le asignará.



Figura 5.20. Tractor modelo D10T (izquierda). Motoniveladora (Cortesía de Caterpillar)

### Selección de equipo de acarreo

En el caso de la caliza de Los Cogollos se sugiere la adquisición de camiones roquero debido al recorrido discreto, la facilidad que tienen para operar en rampas con pendiente, la

capacidad que poseen de trasladar fragmentos de gran tamaño y también volúmenes de materiales pequeños y discontinuos debido a las características propias del proyecto.

### 5. 6.6 Tratamiento mineral

En las canteras el mineral proveniente de los frentes de minas tiene un tamaño variado, por lo que es necesario hacer una reducción mecánica uniforme y una posterior clasificación granulométrica del material, para ello se utilizan una serie de procesos en el tratamiento que recibe el mineral antes de ser almacenado. En general el tratamiento que recibe los distintos productos de una canteras son; trituración primaria y secundaria, molienda, precibado, cribado, clasificación, lavado y almacenamiento. En la figura 5.13 se sugiere un circuito general para el proceso de preparación mecánica de una cantera de caliza.

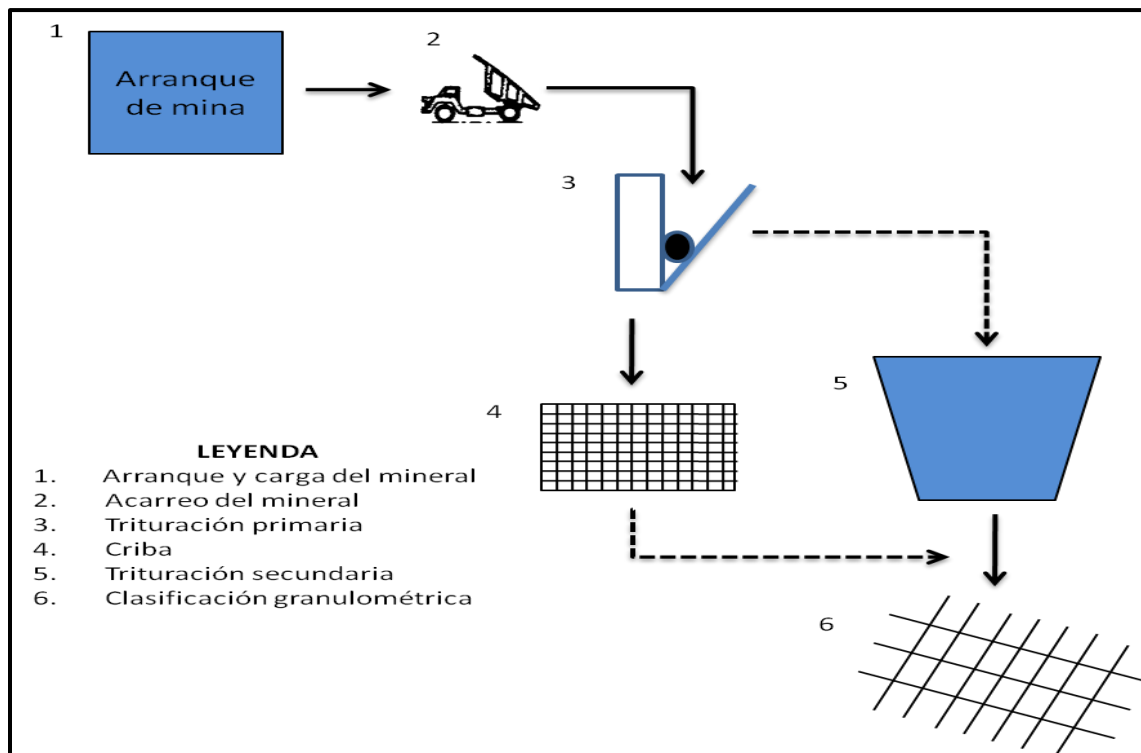


Figura 5.21. Circuito general del proceso de preparación mecánica de una cantera de caliza  
Fuente: Elaboración propia



## **Clasificación granulométrica**

El sistema de clasificación granulométrica recomendado es el cribado, el cual es un proceso mecánico de clasificación dimensional de los materiales de acuerdo a su forma y tamaño, La clasificación granulométrica en las canteras de caliza por lo general se logra cuando se pasa el material por los orificios de una criba, siendo las cribas mecánicas vibratorias las más utilizadas en las explotaciones de áridos.

El objetivo principal del proceso de cribado es la separación de los fragmentos más gruesos contenidos en el todo-uno con el fin de eliminarlos o enviarlos de nuevo a los procesos de reducción granulométrica. También puede ser con el objetivo de eliminar los fragmentos más pequeños o para clasificarlos en distintas dimensiones comerciales.

## CONCLUSIONES

El reconocimiento en campo permitió determinar tres (3) zonas dentro del macizo rocoso. El afloramiento está compuesto de rocas calco-silicatada metamórficas resistencia media a dura, de color marrón a gris oscuro, con bastante uniformidad. La secuencia carbonatada presenta deformaciones y discontinuidades a lo largo de todo el afloramiento, mayormente en la parte central pero sin presencia de fallas ni plegamientos de gran magnitud.

Los resultados obtenidos en laboratorio, de calidad indicativa debido al limitado número de muestras ensayadas, aunque representativa permitió conocer que:

- Petrográficamente, las muestras están compuesta en su mayoría de minerales de calcita, moscovita, cuarzo, ortosa, clorita y minerales accesorios como circón y epidoto. Posee una grado metamórfico de medio a alto, la textura es granoblástica y
- La composición química en las muestras ensayadas arrojó valores bajos en Óxido de calcio (CaO) y altos en componente silicio (SiO<sub>2</sub>).
- Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión simple, son indicativos debido a la condición de roca meteorizada y no de roca fresca proveniente del núcleo de perforación, reportaron valores de: 76 MPa como valor medio de las tres (3) zonas, 93 MPa (valor máximo) y 56 MPa (valor mínimo), eliminando los valores con mayor dispersión con relación al valor medio, por medio del ensayo de carga puntual clasificó al material con dureza intermedia.
- El porcentaje de desgaste promedio en los especímenes ensayados es de 37,33%, lo que permitió establecer el valor de uso del material, como árido de construcción, apto para la construcción de capas firme. Sin embargo, la calidad no es suficiente para tener cualquier aplicación como, balasto de vía férrea, porque se requieren valores de desgaste menor a 20%.

Se estableció el volumen de material que aflora en 101178,4919 m<sup>3</sup>. Se desconoce las dimensiones y forma espacial del macizo rocoso en el subsuelo debido a la falta de perforaciones.

Si bien, el afloramiento de calizas metamórficas de Los Cogollos fue usado por antiguas operadoras mineras para la obtención de base y sub-base de las vías o carreteras, cabe mencionar, que dicha extracción respondía a otros parámetros de aprovechamiento de recursos que actualmente no son aplicables en esta zona, por la necesidad de preservar el legado cultural.

Si la extracción mineral es realizada en este sector, el riesgo de afectación aumenta a medida las operaciones mineras avanzan hacia el talud final de mina, en las direcciones este-oeste y principalmente al sur, desde el macizo rocoso. Por tanto, en esta investigación se plantea como escenario de extracción minería a cielo abierto con técnica de voladuras con control de vibraciones. El método de explotación por bancos descendente y diseño geométrico de talud operativo con altura de 8 m, 0,5 m de berma mínima para seguridad, el ángulo de cara de talud de 45° y un ángulo de talud final de 45°.

El método de arranque mineral es a través es de voladura con explosivos, debido a la resistencia propia del macizo rocoso. El patrón de voladura se debe realizar atendiendo el entorno que rodea a la explotación minera, con diámetro de barreno de 64 mm, retiro de 2 m, espaciamiento de 2,3 m, retacado 2m, sobreperforación 0,6 m, longitud de barreno de 10 m, con una carga total de explosivo de 11 Kg por barrenos.

Este proyecto permite desarrollar la posibilidad una línea de investigación para el aprovechamiento de recursos minerales respetando los legados culturales.

## RECOMENDACIONES

Evaluar otros sectores donde tienen continuidad las rocas de la Formación Aroa- Nirgua como las que se muestran en el mapa geológico y de recursos minerales del estado Yaracuy, particularmente al norte de la antigua cantera Las Catas, en el tramo de carretera panamericana Nirgua-Chivacoa. Con esto, se conseguiría aumentar las oportunidades de encontrar rocas con calidad suficiente como material para balasto y a la vez, alejarse de la zona culturalmente emblemática de Nirgua, legada por los pueblos originarios de tierra firme.

Ampliar y profundizar el conocimiento del inventario de lugares de interés patrimoniales en la región, para precisar la extensión, descripción general y ubicación de los mismos.

Hacer una exploración geológica de detalle para obtener mayor precisión de las informaciones que se refieren al yacimiento. El estudio debe incluir levantamiento topográfico, un programa de evaluador de recursos minerales mediante perforaciones.

Realizar ensayos de laboratorio en núcleos de roca.

Si la extracción mineral es puesta en marcha en el sector Los cogollos, se deben aplicar técnicas de reducción de vibraciones producto de voladuras para garantizar y preservar la integridad física del legado cultural en la zona de estudio.

Estudio de transmisividad del terreno sobre la generación, transmisión, amortiguación, filtrado de frecuencias, superposición de ondas, para establecer modelos de predicción de las vibraciones por voladuras.

## BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, I (2006) Plan de explotación minero de la cantera “C.A. Cantera Yaracuy”, municipio la trinidad, sector las casitas, estado Yaracuy. Tesis. Universidad Central de Venezuela.
- ASTM Standard D-5731, (2002) Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock <sup>1</sup>.ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- BELLIZIA G. A. y RODRÍGUEZ G., D. (1976). Memoria IV Congreso Geológico Venezolano. Tomo VI. Páginas 3.317 – 3415. Editorial Sucre. Caracas.
- BLANCO, Y. (2005) 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. Tesis. Universidad Central de Venezuela.
- CÁRDENAS, M y CHAPARRO, E (2004) Industria minera de los materiales de construcción. Su sustentabilidad en América del Sur. Naciones Unidas, CEPAL, Santiago de Chile.
- CASTILLO, A (2005) "Identificación de Reservas Mineral Sustentable". Ascenso. Facultad de Ingeniería. UCV.
- Catálogo Patrimonio Cultural Venezolano (2004-2006). Consultado el 15 de mayo de 2012 [www.ipc.gob.ve/images/stories/mapa/.../Yaracuy/Nirgua.pdf](http://www.ipc.gob.ve/images/stories/mapa/.../Yaracuy/Nirgua.pdf)
- CATERPILLAR (2001) “Caterpillar Performance Handbook” Edición 32. Illinois, U.S.A
- FUEYO, L (1999) “Equipos de Trituración, Molienda y Clasificación. Tecnología, Diseño y Aplicación” Editorial ROCAS y MINERALES. Madrid (España). 359p.
- GONZALEZ, A. (1992) “Planificación y desarrollo minero del sector oeste de la Cantera La Vega, Distrito Capital. Tesis. Universidad Central de Venezuela.
- GONZÁLEZ. O. (1998) “El tributo Indígena en la Provincia de Venezuela. Historia Para Todos. Gráficas Tao, S.A. Caracas.28 páginas.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, V (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Prentice Hall. Madrid, España

- HERRERA, J. (2006) "Métodos de minería a cielo abierto". Universidad Politécnica de Madrid. España.
- ISRM. (1981) Suggested methods, Rock characterization testing and monitoring. Editor E.T. Brown.
- Instituto Tecnológico Geominero de España (1994). "Manual de Perforación y Voladura de Rocas", I. Izquierdo S.A. Madrid.
- KELLY, E. y POTTISWOOD, D. (1990) "Introducción al Procesamiento de Minerales" LIMUSA México. 530p.
- KLEIN, C y HURLBUT, C. (1998) Manual de Mineralogía. Cuarta edición, tomo I. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España. 368 p.
- LÓPEZ, G. (1994) "Plan de explotación del yacimiento de caliza Paso del Medio, Municipio San Sebastián, estado Aragua. Tesis. Universidad Central de Venezuela.
- LÓPEZ, V. y ASCANIO, G. (2003) Rocas Industriales de Venezuela. Editorial, Fundacite, Aragua.
- Manual General de Minería y Metalurgia (2008). Portal Minero. Santiago Chile.
- MUÑOZ E. (2002) "Riesgo en la Minería Subterránea" Gobierno de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Chile.
- MARTÍNEZ, W y ZURBARAN LUÍS (2007) "Geología y geomecánica del macizo rocoso San Juan de los Morros-Los Flores, para la construcción del túnel San Juan. Sistema Ferroviario San Juan de los Morros-San Fernando de Apure (Tramo D-1), estado Guárico. Tesis. Universidad Central de Venezuela.
- MMDS (2001) "Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable" Abriendo Brecha.
- Ministerio de Petróleo y Minería. (PDVSA). INTEVEP. "Código Geológico de Venezuela". (Documento en línea). Disponible: <http://www.pdvsa.com/lexico> (Consulta: 2012, Marzo).
- Ministerio de Energía y Minas del Perú (2005) Guía para la elaboración y revisión de planes de cierre de minas.
- RAZHDAN, A. (1977) "Prospección de Yacimientos Minerales" Editorial MIR. Moscú.

- RODRIGUEZ, S. (1986) "Recursos Minerales de Venezuela" Boletín de Geología. Volumen XV. Número 27. Ministerio de Energía y Minas. Producciones Gráficas Revieron. Caracas.
- SUÁREZ, J. (2001). Control de Erosión en Zonas Tropicales. Ediciones Universidad Industrial de Santander. Colombia. 555p.
- VOLSKY, J. (2007) El estudio del arte rupestre en Venezuela. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas.
- VILLAS, R y GONZÁLEZ, A. (2003) Patrimonio Geológico y Minero en el Contexto del Cierre de Minas. Editores. Gildo de A. Sá C. de Albuquerque. Rio de Janeiro.
- Consultado el viernes 8 de Junio de 2012  
[http://www.legislacionambientalspda.org.pe/index.php?option=com\\_content&view=article&id=379&Itemid=3718](http://www.legislacionambientalspda.org.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=379&Itemid=3718)  
<http://www.yaracuy.net/turismo/ruinas-del-fuerte-san-vicente/>  
<http://www.yaracuynet>