

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS**



**COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DE LAS ROCAS,
FRAGMENTADAS POR VOLADURA, EN LOS FRENTES “C” Y
“D” DE LA CANTERA “PALMA SOLA”, UBICADA EN EL
MUNICIPIO HERES, ESTADO BOLÍVAR.**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR LAS BACHILLERES:
NATYLIANNI MILLÁN S. Y
VENUS C. WILLIAMS A.
PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO DE MINAS**

CIUDAD BOLÍVAR, FEBRERO DE 2015



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

ACTA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, titulado “COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DE LAS ROCAS, FRAGMENTADAS POR VOLADURA, EN LOS FRENTE “C” Y “D” DE LA CANTERA “PALMA SOLA”, UBICADA EN EL MUNICIPIO HERES ESTADO BOLIVAR, presentado por las bachilleres: Natylianni Millán C.I:19.077.311 y Venus Williams C.I: 17.838.869, como requisito parcial para optar al título de: Ingeniero de Minas ha sido APROBADO por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

Nombre y Apellido del Prof:

Firma:

Luis E. Araya R.

(Asesor)

María Rojas

(Jurado)

Nelson Medori

(Jurado)

Prof. Víctor González

Jefe del Departamento de Minas

Prof. Francisco Monteverde

Director de Escuela

En Ciudad Bolívar, a los 24 días del mes de Febrero de 20 15.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme tener fortaleza, por ser quien me ha concedido la sabiduría y la confianza para obtener satisfactoriamente el aprendizaje y afrontar los percances presentados en el camino y así lograr realizar mi más grande sueño de ser profesional.

A mis padres, Juan y Naty por darme su apoyo incondicional y por enseñare que no nací para ser derrotada, si no para ser triunfadora en la vida. A mis hermanos Luis y Marcos por ser su ejemplo a seguir, a mis demás familiares por apoyarme en el transcurso de toda la carrera.

A mi esposo Carlos por sus consejos dedicación y por empujarme en los momentos de dificultad a lo largo de la carrera. Gracias por estar siempre a mi lado apoyándome para lograr este gran sueño.

A mis verdaderos amigos y a todas aquellas personas que de una u otra forma me ayudaron a lograr una de mis más grandes metas ser profesional.

Gracias....

Natylianni Millán

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por darme la fortaleza y la sabiduría, para llegar al punto donde estoy en este momento por mi perseverancia y alcanzar una de mis metas.

A mis padres Pedro y Yurvis, por ser mis pilares, mi ejemplo a seguir y apoyarme sin condición en este largo camino, por alentarme y mostrarme su amor al tener la paciencia para verse realizados como padres, este triunfo es gracias a ellos y para ellos que me hicieron ver que nada es imposible y que lo que me proponga en la vida lo voy a lograr, tanto en lo profesional, como mujer y persona.

A mi hermana Génesis que ha sido mi orgullo, y por ser su ejemplo a seguir, fui perseverante con esta meta que me propuse, y a mi hermana Isis, que aunque no esté conmigo en este maravilloso momento de mi vida, influyó en mi esfuerzo, este logro ha sido por ellas también que son mi todo.

A mis abuelas Elba y Carmen, por estar siempre a mi lado apoyándome, tengo mucho que agradecerles y por eso mi triunfo es el triunfo de ellas.

A mis familiares y verdaderos amigos que siempre me alentaron y apoyaron en todo momento, esta meta y sueño hecho realidad es gracias a todos ustedes por ser mi fortaleza.

Gracias a Dios y a mi esfuerzo hoy les dedico este éxito con todo mi corazón.

Venus Williams

AGRADECIMIENTOS

Le damos las gracias a Dios primeramente por permitirnos subir un escalón más en la vida para alcanzar nuestra meta.

A nuestros padres por ser las bases fundamentales, su apoyo incondicional y alentarnos para seguir adelante en los momentos de dificultad en nuestra carrera.

A la casa más alta de estudio, nuestra Universidad de Oriente, que nos ha formado como profesionales; a los profesores que nos ayudaron a lo largo de la carrera, capacitándonos y permitiéndonos adquirir conocimientos que servirán como base en el desenvolvimiento de nuestras vidas como profesionales.

A nuestro tutor académico, Luis Araya gracias a su colaboración, apoyo y su conocimiento; no hubiésemos podido culminar este trabajo de grado.

A la Cantera Palma Sola por brindarnos su colaboración y facilitarnos la información requerida para la realización de este trabajo de grado.

A nuestros familiares y verdaderos amigos que nos brindaron su apoyo incondicional para hacer realidad este sueño.

A todos les estamos muy agradecidas por mantener nuestra fe y darnos las fuerzas para culminar esta etapa de nuestras vidas.

Natylianni Millan y Venus Williams.

RESUMEN

El presente estudio es una investigación de tipo descriptiva y de campo, la cual se orientó a realizar un análisis del comportamiento geomecánico de las rocas, fragmentadas por voladura en los frentes “C” Y “D” de la cantera “Palma Sola”, a partir de la revisión del plan de perforación y voladuras, determinando para tal fin, los factores que intervienen en la generación de bloques sobredimensionados de roca, durante las labores de voladura, en dichos frentes de explotación. Para el cumplimiento de los objetivos de la investigación, la metodología utilizada en este trabajo se dividió en cuatro (5) fases; la primera o fase I, orientada a la recopilación de información bibliográfica y cartográfica del área; la fase II o de trabajo de campo, orientada a la inspección y observación de los frentes de explotación, revisión de las labores de perforación y voladura, medición de bloques y recolección de muestras; la fase III o de trabajo de laboratorio, en el cual se realizaron los ensayos de compresión y flexión simple, y la determinación del índice RQD; la fase IV análisis e interpretación de los resultados, en la cual se procedió a la integración y análisis de toda la información; y por último la fase V conclusiones y recomendaciones. El patrón de voladura del frente “C y D” se diseñó con un total de 186 barrenos los cuales están distribuidos en 10 hileras y para el frente C se obtuvo un total de 224 barrenos los cuales están distribuidos en 10 hileras los cuales da un total de 410 barrenos entre los dos frentes, fueron utilizados 677 kg de ANFO como carga de columna y 152 cajas de emulsiones de Senatel Ultrex como carga de fondo, fragmentando un total de 27.444,68 m³ de roca. El tipo de equipo que se utilizó para perforar los barrenos; es una perforadora Hidráulica DX700 Sandvik (martillo hidráulico). Para la obtención de la piedra picada el material pasa por la planta de trituración, de marca TELSMITH, el cual se conforma de una trituradora de mandíbula primaria de 36” x 48” y secundaria de cono SBS 57”, en la primaria el material debe tener una dimensión de 90 cm equivalentes a 36” pulgada con un producto de 4”≈ 10cm, de ahí pasa al proceso secundario en el cual se obtiene un producto final de ¾” - 1” pulgada. Los resultados del estudio permiten establecer que el afloramiento rocoso está compuesto por gneises graníticos de la Provincia Geológica de Imataca; los cuales presentan un valor promedio de resistencia mecánica a la compresión simple de 685,67 kg/cm², y un promedio de resistencia a la flexión de 180,83 kg/cm²; lo que permite clasificarlas como rocas de resistencia media a la compresión y baja a la flexión. Los bajos valores obtenidos durante los ensayos se deben a la presencia de microfracturas las cuales facilitan la fragmentación de las rocas; por tanto, se considera que las fallas durante el proceso de voladura, corresponden a fallas durante la preparación de los frentes, y no por las características geomecánicas de las rocas.

CONTENIDO

ACTA DE APROBACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
CONTENIDO.....	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE APENDICES	xi
LISTA DE ANEXOS	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR	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.....	5
1.3 Justificación del proyecto	5
1.4 Limitaciones	6
1.5 Alcance de la investigación.....	7
CAPÍTULO II	8
GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	8
2.1 Ubicación geográfica relativa del área de estudio.....	8
2.2 Accesibilidad.....	8
2.3 Descripción de la empresa.....	10
2.4 Características físicas y naturales del área de estudio	10
2.4.1 Clima	10
2.4.2 Vegetación.....	12
2.4.3 Aspectos Geomorfológicos	13
2.5 Geología Regional.....	13
2.5.1 Rasgos estructurales a nivel regional	13
2.6 Geología Local.....	15
CAPITULO III	16
MARCO TEORICO	16
3.1 Definición de términos y conceptos básicos	16
3.1.1 Granito.....	16
3.1.2 Definición comercial de granito.	18
3.1.3 Cantera	19
3.1.4 Definición comercial de piedra picada	20

3.2 Evaluación cualitativa de las rocas en función de su resistencia mecánica	20
3.3 Determinación de las características geomecánicas de las rocas.	22
3.3.1 Ensayo de compresión simple	22
3.3.2 Ensayo de flexión simple	23
3.4 Limitaciones de los ensayos de laboratorio.	24
3.5 Evaluación cualitativa de las rocas en función del índice RQD	25
3.6 Descripción general de las actividades mineras en una cantera	27
3.6.1 Perforación	27
3.6.2 Voladura	28
3.6.3 Fragmentación de la roca por explosivos.	30
3.7 Modelo de fragmentación Kuz-Ram	32
3.7.1 Ecuación de Rosin-Rammler.....	33
3.7.2 Ecuación de Kuznetsov.	35
3.7.3 Ecuaciones de Kuz-Ram.	35
3.7.4 Estimación del índice de uniformidad.....	38
3.7.5 Estimación del factor de roca.	39
3.8 Proceso de trituración de la roca	40
CAPITULO IV	43
METODOLOGÍA DE TRABAJO	43
4.1 Nivel de investigación.....	43
4.2 Diseño de la investigación.....	43
4.2.1 Población y muestra de la investigación	44
4.3 Metodología de la investigación	44
4.3.1 Fase de recopilación de información.....	46
4.3.2 Fase de investigación de campo	46
4.3.3 Fase de laboratorio	47
4.3.4 Fase de interpretación de resultados.....	53
CAPITULO V	54
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	54
5.1 Descripción de la Geología y Estructuras de las rocas “in situ” de la cantera “Palma Sola”.	54
5.2 Descripción del método de explotación usado en la cantera “Palma Sola”	55
5.3 Descripción del patron de voladura utilizado en la cantera Palma Sola.	56
5.4 Descripción de las labores de perforación y voladura.....	57
5.5 Análisis geomecánico de las rocas fragmentadas por voladura.	60
CAPITULO VI	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
Conclusiones	64
Recomendaciones	65
REFERENCIAS	66
APENDICES	68

LISTA DE FIGURAS

2.1	Ubicación geográfica relativa del área de estudio	9
2.2	Vegetación observada en el área de la cantera “Palma Sola”	12
3.1	Zona cortical en donde se forman los granitos (Tarbuck, 1998)	16
3.2	Perforadora SANDVIK DX 700 Hidráulica	27
3.3	Patrón de voladura en esquema cuadrado	29
3.4	Patrón en esquema de tres bolillos	30
3.5	Distribución del tamaño de las partículas generadas por fragmentación.....	33
4.1	Fases de desarrollo de la investigación.....	45
4.2	Muestra de roca, correspondiente al frente “C”	46
4.3	Muestra de roca, correspondiente al frente “D”	47
4.4	Cortadora de disco diamantado.....	47
4.5	Muestras de roca preparadas en forma de cubo	48
4.6	Muestras de roca preparadas en forma de regletas	48
4.7	Prensa IBERTEST, modelo CPM-150	49
4.8	Balanza digital SETRA, modelo HI-4100S	49
4.9	Vernier digital.....	50
4.10	Cubo de roca fracturado, estado final del ensayo de compresión.....	50
4.11	Determinación de la longitud de una de las regletas ensayadas	51
4.12	Determinación del volumen de una de las regletas ensayadas	51
4.13	Puntos de apoyo para producir la flexión de la regleta.....	52
4.14	Regleta fracturada, estado final del ensayo de flexión simple.....	52
5.1	Panorámica del frente de explotación exhibiendo las diaclasas en el macizo	55
5.2	Vista en detalle del grado de fracturamiento del macizo	55
5.3	Esquema del patrón de voladura en los frentes de “C” y “D”.....	57
5.4	Configuración de la carga en los barrenos	58
5.5	Rocas fragmentadas por voladura en el frente “D”.....	60
5.6	Conteo de diaclasas con sección del frente “C”	62
5.7	Conteo de diaclasas con sección del frente “D”	63

LISTA DE TABLAS

2.1	Coordenadas U.T.M REGVEN del frente “D” de la cantera "Palma Sola".....	8
3.1	Clasificación de las canteras (Sing, 2006)	19
3.2	Clasificación de la calidad de la roca de acuerdo a su valor de resistencia a la compresión simple(Deere y Miller. op. cit).....	21
3.3	Clasificación de la calidad de la roca de acuerdo a su porcentaje de absorción de agua(Deere y Miller. op. cit).....	21
3.4	Clasificación de la calidad de la roca a su porcentaje de desgaste (Ensayo de abrasión de Los Ángeles(Deere y Miller. op. cit).....	21
3.5	Clasificación de la calidad de la roca de acuerdo al ensayo de flexión(Deere y Miller. op. cit).....	22
3.6	Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD (González. 2004).....	26
3.7	Especificaciones técnicas de la perforadora SANDVIK DX 700.....	28
3.8	Especificaciones técnicas de la trituradora de mandíbula TELSMITH.....	40
3.9	Capacidad de la trituradora de mandíbula.....	41
3.10	Especificaciones de la trituradora de Cono.....	41
3.11	Capacidad de la trituradora de cono SBS – Circuito Abierto.....	41
3.12	Capacidad de la trituradora de Cono SBS – Circuito Cerrado.....	42
5.1	Cálculos del material que se requiere para la voladura del Frente D y C.....	59
5.2	Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple.....	61
5.3	Resultados del ensayo de resistencia a la flexión simple.....	61
5.4	Resultados de la estimación del índice RQD en los frentes “C” y “D”.....	63

LISTA DE APENDICES

A	MEMORIA FOTOGRAFICA.....	68
A.1	Rocas fragmentadas post voladura frente "C".....	79
A.2	Rocas fragmentadas post voladura frente "D".....	70
A.3	Estado final de las muestras en los ensayos de compresión y flexión simple.....	71
B	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE Y FLEXION.....	72
B.1	Ensayos de compresión simple muestras FC.....	73
B.2	Ensayos de compresión simple muestras FD.....	74
B.3	Ensayos de flexión muestras FC.....	75
B.4	Ensayos de flexión muestras FD.....	76

LISTA DE ANEXOS

- 1 MAPA GEOLÓGICO FRENTES “C” Y “D” CANTERA “PALMA SOLA”

INTRODUCCIÓN

La industria minera es una de las mayores promotoras de la economía mundial, ocupando la primera posición, en la cadena de suministros de recursos minerales; en Venezuela, la minería, representa la segunda actividad más importante del país, desarrollándose en dos campos principales, como lo son, la minera metálica, orientada a la explotación de sustancias naturales, de las cuales, puede extraerse un elemento metálico; y, la minería no metálica, la cual, comprende las actividades de extracción de recursos minerales que, luego de un adecuado tratamiento, se transforman en productos aplicables en diversos usos industriales como el de la construcción.

Considerando que el estado Bolívar cuenta con depósitos de rocas graníticas de gran valor económico, y en vista de la gran demanda de materiales pétreos, producto del desarrollo de proyectos de construcción de obras civiles, tal como la Gran Misión Vivienda Venezuela (GMVV), y el desarrollo de proyectos de construcción de obras estratégicas para la economía y soberanía de la nación; se hace cada vez más importante, la extracción de recursos minerales no metálicos, de forma eficiente y eficaz, garantizando el desarrollo sustentable de las operaciones mineras. En éste sentido, el óptimo desempeño de la voladura, y el grado de fragmentación de la roca, juegan un papel muy importante en todo el sistema minero, evitando de modo directo, un incremento en los costos de operaciones asociados a la carga, acarreo y trituración del mineral.

El presente proyecto de investigación se orientó al análisis del comportamiento geomecánico de las rocas, fragmentadas por voladura, ejecutadas en los frentes “C” y “D” de la cantera “Palma Sola”, por medio de la revisión del plan de perforación y voladura, y, en respuesta a la problemática ocasionada por voladuras no efectivas, las

cuales generaron bloques sobredimensionados de roca, de forma que no pueden ser procesados por la planta de trituración, deviniendo en el aumento de los costos de producción de la empresa.

En cuanto a la estructura del informe éste se encuentra dividido en seis capítulos: El Capítulo I referido a la Situación Investigar; el Capítulo II orientado a describir las características generales del área de investigación; el Capítulo III, el cual, contempla la definición de términos y aspectos teóricos relacionados a la investigación; el Capítulo IV donde se describe la Metodología de Trabajo; el Capítulo V el cual encierra el análisis y resultados obtenidos en la investigación; y finalmente, el Capítulo VI correspondiente a las conclusiones y recomendaciones que arrojo esta investigación.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente en Venezuela, se encuentran en ejecución importantes proyectos de construcción de obras civiles y estratégicas, orientadas al desarrollo social y económico de la nación; deviniendo en un aumento considerable en la demanda de recursos minerales no metálicos, tal como lo es, la piedra picada; sin embargo, dada la inestabilidad en el sistema de adjudicación de divisas, la cual, retrasa o impide, la importación de equipos, herramientas, repuestos y suministros, necesarios para la ejecución de labores mineras, se dificulta el cumplimiento de las metas y tiempos de producción establecidos en las canteras a nivel nacional.

Lo expresado anteriormente, no hace más que ratificar la importancia y necesidad, de la correcta planificación y distribución de los recursos materiales de los cuales disponen las canteras para sus operaciones, de manera, que no se generen costos operativos adicionales a los ya establecidos para la carga, acarreo y procesamiento del mineral; además, implica que ante el aumento de los costos operativos, se hace necesaria la revisión y evaluación de las labores mineras, para detectar y corregir las desviaciones generadas durante el proceso de producción.

En este orden de ideas, se desarrolla el presente proyecto de investigación, el cual, está orientado al análisis geomecánico en los frentes de explotación “C” y “D” de la cantera “Palma Sola”; por medio del análisis de las variables humanas, operativas, geológicas y estructurales, las cuales, pudieron intervenir en la generación de bloques sobredimensionados de rocas, producto de voladura no efectivas, imposibilitando su procesamiento inmediato, en la planta de trituración de la cantera.

El enfoque adoptado por las autoras, para el desarrollo y resolución de la investigación, obedece primeramente, a que, por lo general, los patrones de voladuras empleados por las canteras, son prácticamente inamovibles por parte del personal responsable de la extracción del mineral, debido a la incertidumbre existente en los resultados asociados a los cambios realizados, o incluso por la poca experiencia o capacidad que posee el personal, en la correcta evaluación y diseño del plan de perforación y voladura; sin embargo, esta incertidumbre puede disminuir con un mayor conocimiento sobre el comportamiento geomecánico del macizo rocoso, el cual permita adaptar y diseñar el patrón de voladura, más adecuado para las características de la roca. Por esta razón, si se evalúan las rocas ya fragmentadas se podría dilucidar el grado de competencia que poseen estas rocas de tamaños adecuados que deben pasar al siguiente proceso de trituración.

Adicionalmente, las autoras consideran importante, analizar las actitudes estructurales y grado de meteorización de los afloramientos rocosos; dado que las fallas y diaclasas en las rocas, actúan como planos de debilidad, a través de los cuales, se canaliza la energía de las ondas de choque generadas por la explosión; mientras que las zonas meteorizadas, disminuyen la velocidad de propagación de las ondas; en ambos casos la presión requerida para el fracturamiento de la roca, se disipa y disminuye, ocasionando bloques sobredimensionados de roca.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

- Analizar el comportamiento geomecánico de las rocas, fragmentadas por voladura, en los frentes “C” Y “D” de la Cantera “Palma Sola”, ubicado en el municipio Heres Estado Bolívar.

1.2.2 Objetivos específicos

- Descripción de la Geología y Estructuras de las rocas “in situ” en los frentes “C” y “D” de la cantera “Palma Sola”.
- Descripción del método de explotación usado en los frentes “C” y “D” de la cantera “Palma Sola”
- Descripción del patrón de voladura utilizado en los frentes “C” y “D” en la cantera Palma Sola.
- Descripción de las labores de perforación y voladura en los frentes “C” y “D” de la cantera “Palma Sola”.
- Análisis geomecánico de las rocas fragmentadas por voladura en los frentes “C” y “D” de la cantera “Palma Sola”.

1.3 Justificación del proyecto

Las canteras de granitos, en especial la cantera “Palma Sola”, durante mucho tiempo han sido la fuente proveedora de materiales para la región y se ha demostrado que estos materiales son óptimos en los procesos constructivos que se han venido desarrollando. El mercado de la piedra natural está directamente ligado al sector de la construcción, tanto residencial, institucional, comercial, innovaciones en la construcción y a la arquitectura. En el caso específico del granito, su utilización ha aumentado considerablemente, todo como resultado del crecimiento en los últimos años del sector construcción y trabajos ligados a la arquitectura.

Por tal motivo se realizó un análisis geomecánico post voladura del granito de la cantera “Palma Sola”, el cual permitió determinar las propiedades mecánicas y físicas de la roca granítica y conocer e identificar posibles problemas o condicionantes geomecánico de la roca al verse afectada por el proceso y ejecución de las voladuras en el lugar. El proyecto es necesario para la puesta en marcha de nuevos planes de explotación y expansión que tenga la empresa y así cubrir la demanda del sector construcción, tanto regional como nacional. Dicho crecimiento genera como consecuencia aumento de la competencia interna y externa en la cantera, mayores exigencias de calidad, fuente de trabajo para la población y mayor bienestar social para las comunidades.

Los resultados del estudio permitieron conocer qué tan afectada se encuentra la roca post voladura recolectada en la zona de producción de la cantera. Un análisis adecuado de las rocas fragmentadas podría ayudar en la toma de decisiones en aspectos operacionales.

Desde el punto de vista económico la cantera cuenta con una planta de trituración, de tipo mandíbula, la cual cumple la función de diversificar el material ya explotado permitiendo una mayor variedad de comercialización para diferentes áreas industriales de la región, con la ventaja que el producto que se produce es de la forma y tamaño que se requiere para la industria de la construcción, permitiendo una uniformidad en la granulometría del producto que ofrece la empresa, reduciendo los costos de producción, cumpliendo con las exigencias de los clientes y la demanda.

1.4 Limitaciones

Para el desarrollo del estudio se presentaron limitaciones de falta de transporte hasta la cantera y para el traslado de las muestras de rocas. Poca información bibliográfica y de campo, referente al tema en estudio. Dificultad en la obtención de

recursos y/o equipos tecnológicos necesarios para la recolección de muestras, así como la pequeña cantidad de muestras para la investigación y los escasos recursos económicos.

Dificultades propias de las operaciones mineras (retrasos en la perforación y voladura, trituración, dificultad para acceder a los frentes, no interrumpir las actividades del personal de la cantera).

1.5 Alcance de la investigación

El propósito del presente estudio es analizar el comportamiento geomecánico de la roca producto de la voladura, analizados mediante los ensayos de compresión y flexión simple, con el fin de determinar la problemática ocasionada por voladuras no efectivas, las cuales generaron bloques sobredimensionados de rocas en la cantera “Palma Sola”. En ese sentido, el fin del estudio no es crear un patrón de fragmentación de roca, sino generar información importante, a través del análisis y descripción de todo el procedimiento que se da en dicho yacimiento.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación geográfica relativa del área de estudio.

El título minero, de la cantera “Palma Sola”, presenta una extensión territorial de 261,88 Hectáreas de terreno, ubicadas al sur del río Orinoco, dentro de la jurisdicción del Municipio Autónomo Heres del estado Bolívar, a una distancia aproximada de 34 kilómetros en dirección Sureste de Ciudad Bolívar y a 23 kilómetros del distribuidor Marhuanta en la misma dirección (Figura.2.1). El área de estudio, denominado, frentes de explotación “C y D”, se encuentra ubicado en el sector Sur del título minero de la cantera “Palma Sola”, abarca una superficie de 7,5 Has de terreno y está delimitado por la poligonal de coordenadas UTM REGVEN presentadas en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Coordenadas U.T.M del frente “C y D” de la cantera "Palma Sola"

PUNTO	NORTE	ESTE
P1	892000.00	474250.00
P2	891750.00	474250.00
P3	891750.00	473950.00
P4	892000.00	473950.00

2.2 Accesibilidad.

El acceso se realiza a través de la troncal 19 en dirección Ciudad Bolívar – Puerto Ordaz, partiendo desde Ciudad Bolívar hasta el kilómetro 34, en este punto se realiza un desvío, en dirección Sur, hacia una vía asfaltada de unos 2 km de longitud hasta la planta de trituración, patio de clasificación y la oficina administrativa, lugar a partir del cual, mediante vías internas hay comunicación, al taller de mantenimiento mecánico y eléctrico, frentes de explotación y otras zonas de la cantera.

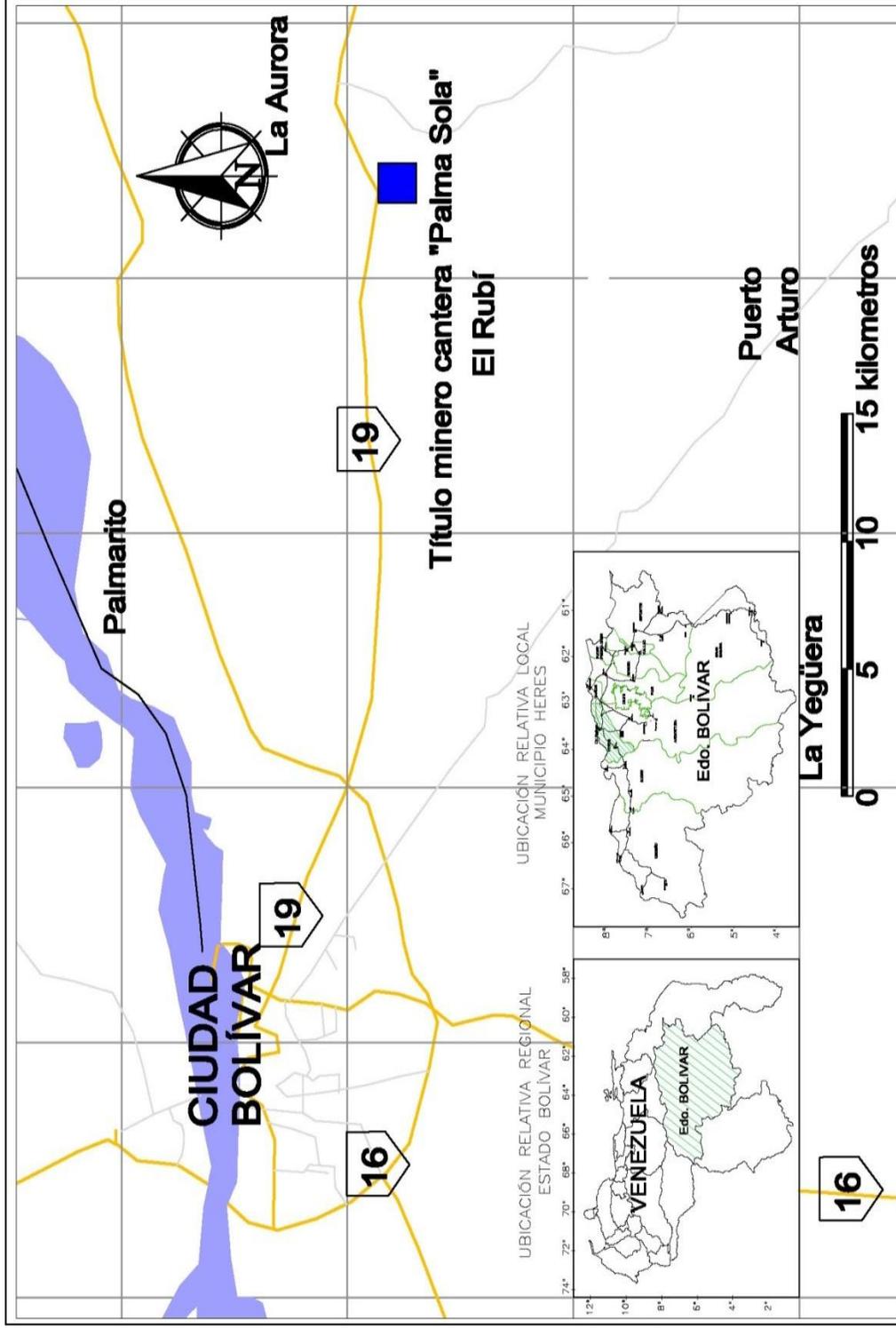


Figura 2.1 Ubicación geográfica relativa del área de estudio (Fuente: Google Maps, 2014)

2.3 Descripción de la empresa.

La empresa “Cantera Palma Sola” C.A., es una empresa de carácter privado, constituida y fundada por el ciudadano Ángel Della Torre, el día 29 de Diciembre del año de 1983; cuenta con los servicios primordiales tal como comedor, talleres, oficinas y servicios de emergencia; la empresa, tiene como objeto la explotación de piedra picada con fines industriales, de construcción y de pavimentación de calles y carreteras, mediante el fraccionamiento y granulación por los sistemas convencionales o por cualquier otro sistema que la compañía pueda adoptar de acuerdo con las más avanzadas técnicas que se aplique o adopte para tales fines. La producción está compuesta por piedra picada de ½” , ¾” , 1” , 1 ½” , 2” y arrocillo, las cuales contribuyen a satisfacer la demanda de estos productos en los mercados de Ciudad Bolívar, Puerto Ordaz, Ciudad Piar, tanto para la construcción como para el mantenimiento de las vías de la región. Pueden también ofrecer cualquier granulometría especificada requerida por el cliente.

El terreno donde está instalada la Cantera Palma Sola, es propiedad de la empresa, según consta en documento debidamente registrado ante el Juzgado Mercantil del Juzgado Primero en lo Civil y Mercantil, del Primer Circuito de la Circunscripción Judicial del estado Bolívar. (Fuente: Instituto Autónomo Minas Bolívar; IAMIB, 2009)

2.4 Características físicas y naturales del área de estudio

2.4.1 Clima

Los datos meteorológicos, según Torres y Oliveira, 2011, corresponden a la Estación Meteorológica del Aeropuerto de Ciudad Bolívar, al ser ésta, la más cercana al área de estudio.

- **Precipitación:** La precipitación presenta un comportamiento bimodal, constituido por una temporada de lluvias, comprendida entre los meses de Mayo y Diciembre, con una precipitación media de 1294 mm.; y, una temporada de sequía, comprendida entre los meses de Enero y Abril, con una precipitación media de 628 mm. (Torres y Oliveira, 2011)

- **Evaporación:** Presenta un promedio anual de 1.578 mm. y valores medios mensuales variables entre 128 mm. y 198mm. Los meses de mayor evaporación son Enero a Mayo; debido a las altas temperaturas, la mayor cantidad de horas de brillo solar, baja humedad relativa, así como al sensible aumento de la velocidad del viento en ese período. (Torres y Oliveira, 2011)

- **Temperatura del Aire:** Entre los meses de Enero a Mayo presenta un promedio anual de 26,9 °C; con registros de promedios máximos durante los meses de Abril y Mayo con 28,7 °C y 28,3 °C, respectivamente; y promedios mínimos en los meses de Diciembre y Enero con valores de 24,9 °C y 25,6 °C respectivamente; siendo la oscilación de la temperatura menor a 5 °C. (Torres y Oliveira, 2011)

- **Humedad del Aire:** Las máximas medias ocurren en los meses de Junio, Julio y Agosto, con valores de 80 %, 78 % y 77 %, respectivamente; y las mínimas medias se presentan en los meses de Febrero, Marzo y Abril con valores de 69 %, 67 % y 69 % respectivamente. (Torres y Oliveira, 2011)

- **Insolación:** Para el período comprendido entre los años 1951 y 1990, se registraron valores medios iguales a 7,9 hrs/día; con valores máximos, durante los meses de Febrero a Marzo, de 8,3 y 8,5 hrs/día respectivamente, y valores mínimos de 8,1 a 8,4 hrs/día. Durante los meses de Agosto a Noviembre. (Torres y Oliveira, 2011).

- Vientos: Su dirección predominante es E-NE con desplazamiento hacia el S-SW; la velocidad promedio anual es de 9,7 km/hr, con valores máximos en el periodo Enero-Abril, con valores entre 11,5 a 12,7 km/hr, y valores mínimos en los meses Agosto-Septiembre con un valor medio de 6,9 km/hr. (Torres y Oliveira, 2011)

2.4.2 Vegetación

En las zonas de planicies, la vegetación se caracteriza por sabanas abiertas gramíneo arbustivas, definida por la dominancia de especies herbáceas como paja sabanera (*Andropogon selloanus*) y paja peluda (*Axonopus compressus*), bosques de baja densidad conformados por ejemplares como el mastranto (*Hyptis suaveolens*) y arbustos achaparrados de las especies del manteco (*Byrsomina crassifolia*) (Figura 2.2) y chaparro (*Curatella americana*). Sobre los afloramientos rocosos, se observó una composición florística de baja densidad, caracterizada por cactus de cuatro costillas (*Acanthocereus tetragonus*), melón de cerro (*Melanocactus* sp.), chaparros (*Curatella americana*) y manteco (*Byrsomina crassifolia*).



Figura 2.2 Vegetación observada en el área de la cantera “Palma Sola”.

2.4.3 Aspectos Geomorfológicos

Los relieves positivos asociados a la presencia de cuerpos de rocosos, se caracterizan por presentar forma de domos alargados de baja pendiente (16%) y tope redondeado, se presentan orientados predominantemente en dirección sureste-noreste; con una elevación variable, comprendida entre los 160 y 210 metros sobre el nivel del mar; el relieve circundante a las áreas de afloramientos rocosos se caracteriza por planicies suavemente onduladas, de pendiente muy baja (3%), orientadas en dirección noreste.

2.5 Geología Regional

El área en estudio se enmarca dentro de la Provincia Geológica de Imataca, la cual está conformada por gneises félsicos y máficos intercalados con capas de cuarcitas ferruginosas, granulitas, y cuerpos delgados interestratificados con rocas graníticas (Menéndez 1968). Las edades más antiguas detectadas en éstas rocas alcanzan valores entre 3.500 – 3.600 millones de años (m.a), correspondiendo a la edad del Protolito, es decir, a las rocas originales previas al metamorfismo (Mendoza, 2000).

2.5.1 Rasgos estructurales a nivel regional

Desde el punto de vista estructural, las rocas del Complejo Imataca se hallan intensamente plegadas y metamorizadas regionalmente a la facies de la anfíbolita y la granulita; contienen abundante gneis granítico y se destacan especialmente por su contenido de hierro, cuarcitas ferruginosas, que son capas meta sedimentarias que han sufrido re-cristalización metamórfica considerable. (Menéndez, 1968). Entre los rasgos estructurales más resaltantes podemos mencionar:

- Falla de Gurí: es el rasgo megatectónico más importante en el escudo suramericano, representa una zona de cizallamiento intenso, que se desarrolla hacia el suroeste, estando cubierta por el Lago de Gurí, en los alrededores del Cerro Bolívar y Altamira. Hacia el noroeste, se disipa bajo los sedimentos aluvionales del río Orinoco y el delta (Mendoza, 2000).

- Falla de El Pao: es sub-paralela a la Falla de Gurí, tiene su mejor desarrollo entre la población de El Pao y el frente de trabajo El Paraíso. Según Sosa (1977), la Falla se extiende por unos 140 km, desde el Estado Delta Amacuro hasta el río Caroní. La Falla de El Pao y el Lineamiento del río Caroní forman los límites del bloque de El Pao (Sosa,1977)

- Lineamiento del río Caroní: La primera observación sobre esta discontinuidad fue hecha por Kalliokoski (1965), cuando menciona, que el plegamiento es diferente en las márgenes, quien indican que este largo lineamiento, junto con las fallas, parecen definir cinco dominios estructurales distintos; en el caso del lineamiento del río Caroní, este separa un terreno metamórfico erosionado, de topografía rebajada, cubierto por sedimentos de la Formación Mesa, de un terreno metamórfico intensamente deformado, con topografía accidentada, donde no hay cubierta sedimentaria (Kalliokoski, 1965)

- Pliegues: En la Provincia Geológica de Imataca, los pliegues principales son estructuras cerradas, donde ha sido posible la transferencia lateral; la mayoría son anticlinales alargados, donde los elementos principales del esfuerzo han sido uniformes; las estructuras resultantes son de forma ovalada a redondeadas. Según Kalliokoski (1965), los pliegues de mayor tamaño, son estructuras amplias, definidas por la foliación gnéisica y por las lomas de cuarcitas ferruginosas (Kalliokoski, 1965)

2.6 Geología Local

Las unidades geológicas que se han identificado en la Cantera Palma Sola corresponden al Complejo de Imataca y Formación Mesa. En el Complejo de Imataca predominan las Granulitas, Gneises Máficos y Félsicos, y Granitos de carácter muy ácido. Macroscópicamente la roca es de grano medio, gris oscuro a parduzco, meteorización poco profunda y planos de foliación que siguen una dirección Este-Noreste a Oeste Noreste (Torres y Oliveira, 2011)

La roca, al meteorizar producto de los agentes externos, deja una cubierta residual con abundante cuarzo y fragmentos rocosos, originando un suelo coluvial-arenoso, el cual se desplaza hacia las partes llanas, cuando llueve, cubriendo los sedimentos de la Formación Mesa. Muchos afloramientos se encuentran desprovistos de suelos y por lo tanto carentes de vegetación, la vegetación en este tipo de suelo es típica de sabana, con arbustos de la familia del chaparro (Torres y Oliveira, 2011).

CAPITULO III

MARCO TEORICO

3.1 Definición de términos y conceptos básicos

3.1.1 Granito

El granito es una roca que se compone de minerales cristalizados formados principalmente de cuarzo (entre un 20 y 40%), feldespato (en general feldespato de potasio y plagioclasas oligoclasa), con una cantidad pequeña de mica (biotita o moscovita) y de algunos otros minerales accesorios como circón, apatito, magnetita, ilmenita y esfena en las profundidades de la corteza terrestre (plutónica) como se muestra en la figura 3.1. La disposición de estos cristales será la característica que señale las diversas familias. (Bellizia, 1974).



Figura 3.1 Zona cortical en donde se forman los granitos (Tarbuck, 1998)

A partir del contexto geotectónico, se pueden definir, por lo menos, dos grandes familias de granitos de diferente origen; estas están íntimamente relacionadas con los factores de temperatura y presión que producen fusiones parciales para dar distintos magmas que estos a la vez, formaran las diferentes rocas por familia (Bellizia, 1974).

La primera familia corresponde a los “Granitos de Anatexia”, originados en zonas profundas con temperatura y presión suficientemente elevadas para producir, por fusión parcial, diferentes tipos de magmas de composición granítica. Estas zonas particularmente son de alta temperatura y presión, se encuentran en áreas orogénicas de colisión o en áreas de subsidencia que caracterizan a las grandes cuencas de sedimentación (Bellizia, 1974). En efecto, en diferentes zonas inestables de la tierra, las rocas de superficies son arrastradas hacia la profundidad, en una lenta migración de las placas de la corteza terrestre durante una gigantesca colisión de los continentes; las rocas sometidas a grandes fuerzas horizontales, se transforman en esquistos plegados y brechados. Entre 15 y 20 km, se forman las primeras rocas, es decir, los esquistos cristalinos que se marcan con la aparición de la biotita a temperatura de más de 400°C y el acrecentamiento del tamaño de los granos de cuarzos persistentes. A 20 km con temperatura de más de 700°C, una parte del material se funde y se inyecta entre las partes sólidas, para formar las migmatitas; luego la fusión prosigue, el magma se homogeniza y las rocas resultantes forman una serie de rocas magmáticas para dar un granito generalmente con dos micas. Las masas importantes de este “magma”, el cual es más liviano que los materias encajantes no fundidos, pueden subir como burbujas de aceite para dar masas grandes de granitos intrusivos en las formaciones superiores de la corteza terrestre (Bellizia, 1974)

La segunda familia, Se ubica en la zona de subducción, las cuales aparecen en otras zonas del globo, el piso de los océanos se mueve como un transportador de cinta y se hunde bajo los continentes a profundidades de 70 a 100 km. Toda una serie de granito se desarrollan a partir de la fusión de la parte superior del manto ubicado

bajo la corteza continental; estos pueden subir en forma de burbujas para unirse con los otros granitos dentro de zonas más elevadas de la corteza (Bellizia, 1974)

Durante la ascensión, en relación con la diferenciación magmáticas y las variaciones de presión y de temperatura, la composición del magma evoluciona para dar una gama que va desde los granitos hasta los gabros. Cualesquiera que sean las fuentes, durante la subida en la corteza continental, los magmas graníticos originales se enfrían y cristalizan lentamente a profundidad superior a 5 km de la superficie (Bellizia, 1974)

3.1.2 Definición comercial de granito.

Es una roca fanerocristalina con cristales a simple vista compacta y pulible, usada en construcción y decoración, constituida esencialmente de una dureza de 5 a 7 en la escala de Mohs. De manera general, la denominación granito comprende rocas ígneas caracterizadas por su tamaño, dureza, resistencia mecánica, inercia química y agradable aspecto. Se incluyen las pizarras, granitos y gravas de diversos usos; los componentes del granito son: feldespato-cuarzo-mica; pertenece a la familia de la roca plutónica (Bellizia, 1974)

El granito es una roca enteramente cristalizada; los minerales tienen entre 2 y 5 mm de tamaño, presenta brillo graso y fractura redondeada; el feldespato ortosa presenta coloración variable como blanca, rosada o roja; la mica biotita se presenta en laminillas hexagonales negras con brillos dorados. El granito se encuentra formando enormes masas conocidas como batolitos; su fracturamiento natural es en bloques de forma rectangular, mediante grietas denominadas diaclasas que facilita su arranque. La alteración de los granitos micáceos se evita mediante pulimentado, es una roca de gran importancia, ya que emplea en toda clase de obras por su gran resistencia; de pulimentado duradero (Bellizia, 1974).

3.1.3 Cantera

De manera general, una cantera en un área o superficie en la cual se realiza una explotación minera, generalmente a cielo abierto, a partir de la cual se obtienen rocas industriales, ornamentales o agregados áridos; según sus características específicas, las canteras pueden clasificarse según el tipo de explotación, el tipo de material a explotar, y el origen de los materiales a extraer (Tabla 3.1). Las canteras suelen ser explotaciones de pequeño tamaño, aunque el conjunto de ellas representa, probablemente, el mayor volumen de la minería mundial. Tienen su origen en la formación geológica de una zona determinada, donde pueden ser sedimentarias, ígneas o metamórficas (Sing, 2006).

Tabla 3.1 Clasificación de las canteras (Sing, 2006)

CATEGORÍA	SUB CATEGORÍA	DEFINICIÓN
Según el Tipo De Explotación	Canteras A Cielo Abierto	Canteras en laderas, cuando la roca se arranca en la falda de un cerro).
	Canteras En Cortes	Cuando la roca se extrae de cierta profundidad en el terreno (pit).
Según el Tipo De Material A Explotar	Materiales Consolidados	Conformado por cuerpos rocosos macizos
	Materiales No Consolidados	Conformados por suelos, material saprolítico, agregados, terrazas aluviales y arcillas
Según su Origen	Aluviones	Bancos de depósitos aluviales o fluviales
	Rocas o Peñas	Bloques de rocas sueltas (bolones)

Vale la pena reseñar que los principales productos obtenidos en las canteras son: granitos, mármoles, calizas y pizarras (Sing, 2006), los cuales, a diferencia del resto de las explotaciones mineras, no son sometidos a procesos de concentración; de hecho éstos materiales, no sufren grandes procesos de transformación luego de su extracción.

3.1.4 Definición comercial de piedra picada

El término piedra picada, hace referencia a aquellas rocas, que, luego de un proceso de trituración, son transformadas a distintas granulometrías, para su utilización, como agregado en la industria de la construcción. Por lo general, una de las rocas, mayormente empleadas como materia prima para la producción de piedra picada, es el granito; el cual, es una roca compuesta de minerales cristalizados de cuarzo (entre un 20 y 40%), feldespato (en general feldespato de potasio y plagioclasas oligoclasa), una pequeña cantidad mica (biotita o moscovita) y algunos minerales accesorios (Arevalo y Fernandez 2008)

3.2 Evaluación cualitativa de las rocas en función de su resistencia mecánica

Para evaluar una roca en función del uso al cual a estar destinada es necesario conocer a prioridad sus características petrográficas, físicas, químicas y mecánicas más representativas; según Ascanio y Palermo (2001) a partir del conocimiento de las propiedades de las rocas es que vamos a poder predecir su comportamiento y durabilidad para el uso al que se le va a destinar, y su resistencia a los agentes atmosféricos al que van a estar sometidos. Desde el punto de vista geomecánico, es de interés conocer la resistencia del material, a fuerzas compresivas y de flexión, dado que, para su uso en la industria de la construcción, éstos deben mantener, de forma obligatoria, su integridad física mecánica, ante los distintos tipos de esfuerzos a los cuales estarán sometidos.

En las tablas 3.2 a 3.5, se indican algunas especificaciones formales de resistencia a la compresión simple, coeficiente de absorción de agua, resistencia al desgaste por abrasión de Los Ángeles y flexión que utiliza Deere y Miller (2000) para clasificar las rocas según el ensayo realizado y el uso al que vaya a estar destinado.

Tabla 3.2 Clasificación de la calidad de la roca de acuerdo a su valor de resistencia a la compresión simple (Deere y Miller Op. cit)

Resistencia	σ_C (Kg/cm ²)
Resistencia muy Alta	>2246,6
*Resistencia Alta	1124,8-2249,6
Resistencia Media	562,4-1124,8
Resistencia Baja	281,2-562,4
Resistencia muy Baja	0-281,2

*Se recomienda su uso en todo tipo de construcción y ornamentación.

Tabla 3.3 Clasificación de la calidad de la roca de acuerdo a su porcentaje de absorción de agua (Deere y Miller Op. cit)

Clasificación	Porcentaje de absorción
Muy Alta	70-100
Alta	50-70
Media	30-50
*Baja	10-30
*Muy Baja	0-10

*Se recomienda su uso en todo tipo de construcción y ornamentación.

Tabla 3.4 Clasificación de la calidad de la roca a su porcentaje de desgaste (Ensayo de abrasión de Los Ángeles. Deere y Miller Op. cit)

Resistencia	%Absorción
Muy Alta	70-100
Alta	50-70
Media	30-50
*Baja	10-30
*Muy Baja	0-10

*Se recomienda su uso en todo tipo de construcción y ornamentación, ya que tiene resistencia a sufrir desgastes durante su uso diario.

Tabla 3.5 Clasificación de la calidad de la roca de acuerdo al ensayo de flexión (Deere y Miller Op. cit)

Resistencia	Flexión
Resistencia Muy Alta	>600
*Resistencia Alta	400-600
Resistencia Media	250-400
Resistencia Baja	140-250
Resistencia Muy Baja	30-140

*Se recomienda su uso en todo tipo de construcción, ya que tiene resistencia a soportar cargas ejercidas sobre ella.

3.3 Determinación de las características geomecánicas de las rocas.

La determinación de las características geomecánicas de las rocas, se realiza por medio de ensayos de laboratorio, orientados a evaluar, una propiedad específica de la muestra analizada; por lo general, los ensayos más comúnmente utilizados, son: el ensayo de compresión simple, el ensayo de flexión simple, determinación de peso específico, determinación del porcentaje de absorción de agua y la determinación del porcentaje de desgaste, o ensayo de abrasión Los Ángeles. Cada uno de estos ensayos, proporciona un valor específico interrelacionado a los demás, permitiendo al investigador clasificar y determinar el uso potencial del mineral, como roca ornamental o como piedra picada para la construcción. Para los efectos de ésta investigación, sólo fueron realizados, los ensayos de compresión y flexión simple, por cuanto, se orientan a determinar la resistencia de la roca, a la rotura (Gonzalez 2004).

3.3.1 Ensayo de compresión simple

El ensayo permite determinar en laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca; se realiza sobre un cubo de cinco (05) centímetros de superficie, en cada una de sus seis caras; para el ensayo se aplica gradualmente una fuerza axial, registrando el valor de compresión, al producirse la rotura.

Los valores obtenidos dependerán de la naturaleza y condiciones de la roca (mineralogía, tamaño de granos, micro-fisura, y grado de meteorización), y de las condiciones del ensayo (forma y volumen del cubo, preparación y tallado de la misma, contenido de humedad, temperatura, velocidad de carga, dirección de ampliación de la carga, rigidez de la máquina de ensayo (González, 2004).

Los valores de resistencia a la compresión simple, se expresan en Kilogramos sobre centímetro cuadrado, calculados a partir de la siguiente relación:

$$\sigma_c = \frac{F}{A} = \frac{Kg}{cm^2} \quad (3.1)$$

Dónde:

σ_c : Resistencia a la compresión simple (kg/cm²)

F: Fuerza (kg)

A: Área de la superficie sobre la cual se aplicó la fuerza (cm²)

3.3.2 Ensayo de flexión simple

El ensayo está orientado a determinar el factor de resistencia al corte por flexión del material; por lo general, se realiza sobre una probeta de 13x4x2,5 centímetros, la cual es colocada en una prensa hidráulica, con dos apoyos en la parte inferior, ubicados en los extremos de la regleta, y otro apoyo en la parte superior, ubicado en la parte central; de manera similar al ensayo de compresión simple, se registra el valor de fuerza aplicada expresada en kilogramos por centímetro cuadrado, al momento de la fractura de la muestra.

Para la determinación de la resistencia a la flexión de la muestra; éste valor debe ser expresado bajo la notación (μpa)

$$R(\mu pa) = \frac{WL}{bh^2} \quad (3.2)$$

Dónde:

R: Resistencia a la flexión (μpa)

L: Separación (luz) entre los apoyos (cm)

b: Ancho (cm)

h: Alto (cm)

W: Carga Aplicada

3.4 Limitaciones de los ensayos de laboratorio.

Los ensayos de laboratorio y los resultados que a partir de ellos se obtienen, presentan una serie de limitaciones, las cuales, son de importante consideración, al momento de extrapolar los datos a escala de macizo rocoso (González, 2004); entre las más importantes podemos mencionar:

- Representatividad: las muestras que se ensayan corresponden a puntos aislados del macizo rocoso, no siendo representativas de todo el ámbito de estudio y de la variabilidad de factores presentes en la naturaleza. Por otro lado, las condiciones ambientales en que se encuentran las rocas en el campo (presión confinante, temperatura, composición química del agua intersticial, etc.) son difíciles de reproducir en laboratorio (González, 2004).

- Escala: Se ensayan pequeñas fracciones de material, a partir de las cuales se pretende la determinación y el pronóstico del comportamiento del ámbito más amplio (González, 2004).

- Velocidad: los procesos de deformación y rotura se imitan en laboratorio generalmente en unos pocos minutos, mientras que en la naturaleza estos métodos pueden ser el resultado de circunstancias y acciones a lo largo de períodos muy dilatados de tiempo. (González, 2004)

Si a estos aspectos se agrega la influencia de otros elementos relacionados con la ejecución de los ensayos, el tipo y características de la maquina utilizada y la preparación de las probetas; se entenderán las restricciones y dificultades asociadas a la determinación y de las propiedades de los macizos rocosos a partir de los ensayos de realizados (González, 2004).

3.5 Evaluación cualitativa de las rocas en función del índice RQD

El índice de calidad de roca (RQD por sus siglas en inglés) es usado comúnmente para describir la calidad de una roca en función del grado de fracturamiento de un macizo rocoso; uno de los procedimientos empleados para su estimación se basa en determinar el porcentaje de roca no fracturada, por medio de la sumatoria de longitudes de tramos de núcleos de perforación, superiores a diez (10) centímetros, dividida entre la longitud total de la perforación; si no se poseen núcleos de perforación, el índice RQD también puede ser estimado realizando el conteo de las fracturas por metro cúbico de roca, y aplicando la siguiente relación:

$$RQD = 115 - (3.3)Jv \quad (3.3)$$

- Cálculo de área:

$$A = b * h \quad (3.4)$$

- Estimación de diaclasas por unidad de área:

$$N_2 = \frac{N^{\circ}Diaclasas}{\text{Área}} = \frac{Diaclasas}{m^2} \quad (3.5)$$

- Estimación de diaclasas por unidad de volumen:

$$Jv = K_1 * N_2 = 1,5 * N_2 \quad (3.6)$$

Dónde:

RQD: Índice de calidad de la roca.

Jv: Número de grietas por metro cúbico.

N₂: estimación de diaclasas por unidad de área

Para la clasificación del macizo rocoso en función del índice RQD, sólo es necesario, comparar los resultados obtenidos con los de la Tabla 3.6

Tabla 3.6 Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD (González, 2004).

RQD %	Calidad
<25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Mediana
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy buena

3.6 Descripción general de las actividades mineras en una cantera

Bajo el término “labores mineras” se engloban a todas aquellas actividades, ejecutadas de forma sistemática, relacionadas con la extracción de un mineral; para los efectos de ésta investigación, sólo se definirán, en este punto, las labores mineras de producción, así como algunos fundamentos teóricos básicos, relevantes para la comprensión del enfoque de la investigación (Quevedo 2007).

3.6.1 Perforación

La perforación en las labores mineras de producción, consiste en la apertura de un hueco vertical o direccionado, para la colocación de explosivo; ésta actividad precede a la voladura, por lo cual está asociada a la fragmentación de la roca. (Gil, 2001). En la cantera “Palma Sola” las labores de perforación son realizadas mediante una perforadora SANDVIK DX 700 (Figura 3.2). Las especificaciones técnicas de la perforadora se muestran en la Tabla 3.7



Figura 3.2 Perforadora SANDVIK DX 700 Hidráulica.

Tabla 3.7 Especificaciones técnicas de la perforadora SANDVIK DX 700
(Listado de Maquinarias de la Cantera “Palma Sola”.)

Características generales	
Peso (Kg)	14.800
Cabina	SI
Superestructura giratoria	SI
Martillo	HL710
Energía de impacto (Kw)	19,5
Motor	CAT/C7
Potencia media motor diesel(Kw /cv)	151/205
Brazo	Articulado
Ext. brazo telescopio (mm)	-
Longitud total (mm) corredera	7.700
Producción aire libre m ³ /min compresor	8,1
Nº de barras en cargador	6+1
Longitud de la barra (mm)	3.050/3.660/4.265
Ø Bocas (mm)	64-115
Tipo tamaño de barra	38,45,51
Máx. Prof. Perforación (sin enr.)(m)	29
Nombre anterior	Ranger 700

3.6.2 Voladura

Es la acción de fragmentar o fracturar la roca, el suelo duro, el hormigón o desprender algún elemento metálico, mediante el empleo de explosivo. Las mismas se realizan para lograr un objetivo predeterminado, pueden ser controladas, o no, puede ser a cielo abierto, en galerías, túneles o debajo del agua (Gil, 2001)

En la fase de perforación la longitud de los huecos perforados, el paralelismo y la alineación entre los barrenos juegan un papel importante en el momento de obtener buenos resultados del proceso de voladura, ya que aquí se determina las distancias entre los barrenos, espaciamiento y alejamiento así como también la ubicación entre barrenos contiguos, todo esto para obtener la mejor “Distribución de energía en los diferentes patrones de perforación” (Gil, 2001). Entre los patrones de voladura, más comúnmente utilizados tenemos:

- Esquema cuadrado o rectangular: en este patrón las líneas poseen separaciones iguales a los espaciamientos y a su vez los barrenos se encuentran organizados en filas perpendiculares a las líneas (Figura 3.3).

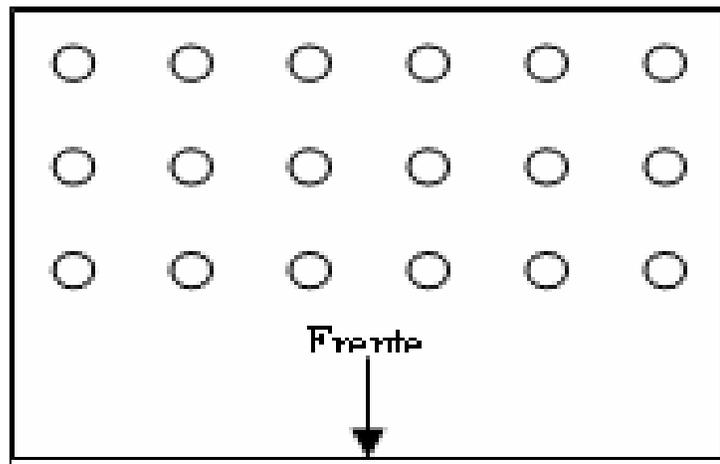


Figura 3.3 Patrón de voladura en esquema cuadrado.

Este patrón es usado principalmente en perforaciones de rocas con dureza y tenacidad baja, tales como calizas, en las cuales se obtienen mejores resultados, además de facilitar el replanteo de los puntos de emboquille.

- Esquema de tresbolillos: en este patrón se utilizan formatos triangulares en las cuales las separaciones entre líneas son menores que los espaciamientos y los

barrenos se encuentran ubicados en medio de los barrenos de las líneas anteriores y siguientes (Figura 3.4).

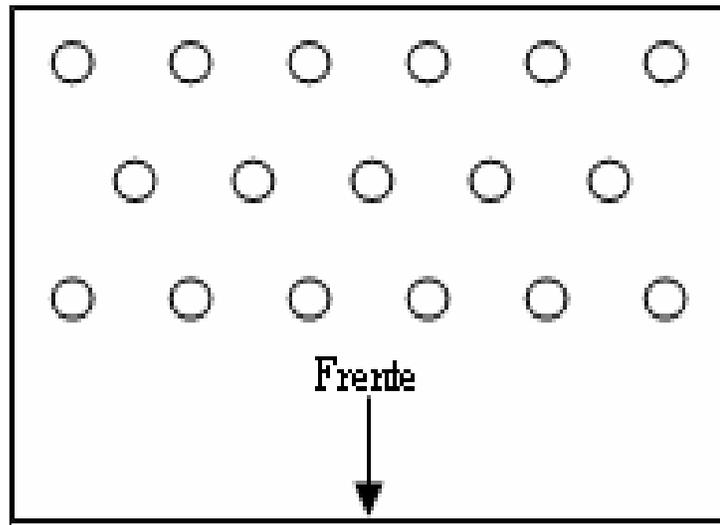


Figura 3.4 Patrón en esquema de tresbolillos

Este patrón es usado principalmente en rocas de alta dureza y tenacidad, obteniéndose una mejor distribución de la energía del explosivo en la roca y permite obtener una mayor flexibilidad en el diseño de la secuencia de encendido y dirección de salida de la voladura; este esquema produce la mejor fragmentación.

3.6.3 Fragmentación de la roca por explosivos.

La fragmentación de roca por voladura comprende la acción del explosivo y la consecuente respuesta de la masa de roca circundante, involucrando factores de tiempo, energía termodinámica, onda de presión, mecánica de roca y otros, en un rápido y complejo mecanismo de interacción. Una fragmentación óptima de la roca, viene dada por la rotura del material rocoso en trozos adecuados, los cuales, pueden ser fácilmente manipulados por el equipo minero de acarreo, y la minimización de los costos generados por voladura, generando así los más altos

rangos de producción. En general, las etapas o fases de la fragmentación de la roca, siguen la siguiente secuencia:

- **Detonación del explosivo:** La detonación del explosivo es la fase inicial de un proceso de fragmentación, en la cual los ingredientes básicos de un explosivo (combustible y comburente) se convierten inmediatamente en gases de alta presiones y temperaturas. Para explosivos comerciales, las presiones de tras del frente de detonación son del orden de 2000 MPa a 27500 MPa.; ésta presión, conocida como la presión de detonación dependen principalmente de la densidad y velocidad de detonación (VOD) del explosivo. El marco del tiempo necesario para completar las detonaciones es de poco microsegundo para una carga pequeña esférica y milisegundo para una carga cilíndrica larga (Pérez, R., 2013).

- **Transferencia de la onda de choque a la masa de la roca:** Esta alteración u onda de presión, transmitida a través del macizo rocoso, es resultado, en parte, de la rápida expansión del gas y las alta presiones, lo cual produce el impacto en las paredes del barreno y la presión de detonación. La geometría de la dispersión depende de varios factores, tales como ubicación del punto de iniciación (punto cero), VOD y velocidad de la onda de choque de la roca. Los componentes de compresión, tensión, cizalle y los componentes combinados de cualquier frente de onda, siempre decaerán con la distancia a la carga (Pérez, R., 2013).

- **Generación y expansión de gases a altas presión y temperatura:** La generación y expansión de gases producen un campo de esfuerzo alrededor del barreno que puede expandir el barreno original, extendiendo grietas radiales y penetrando en cualquier discontinuidad. Cuando las tensiones superan la resistencia dinámica a la tracción de la roca se inicia la formación de una densa zona de grietas radiales alrededor de la zona triturada que rodea al barreno; sin embargo si las columnas de

explosivos son intersectadas longitudinalmente por fracturas existentes, estas se abrirán por efecto de la onda de choque y se limitara el desarrollo de las grietas radiales en otras direcciones (López Jimeno, 1987)

- Desplazamiento de la masa de la roca triturada: El desplazamiento de la masa de roca triturada es la última etapa en el proceso de voladura; la mayor parte de la fragmentación ya se ha completado a través de ondas de compresión y de tensión, de la presurización del gas o una combinación de ambos. Sin embargo, algún grado de fragmentación ocurre a través de colisión en el aire y cuando el material impacta contra el suelo. Generalmente, mientras más alto es el banco mayor es la fragmentación, debido al aumento de la velocidad de impacto de los fragmentos individuales cuando caen al piso del banco. De la misma manera, el material eyectado de la filas opuestas de un amarre en “V” y que colisionan en el aire, puede dar como resultado una mayor fragmentación. Este fenómeno fue documentado con el uso de la cámaras de alta velocidad en voladuras en banco (Enaex) (Pérez, R., 2013).

3.7 Modelo de fragmentación Kuz-Ram

El proceso de fragmentación sea por voladura, chancado o molienda produce una poli dispersión del material, compuesta por materiales de tamaño grueso, medio y una cierta cantidad de material fino; esta combinación de materiales puede ser caracterizada por una curva de distribución de tamaños de las partículas como se muestra en la Figura 3.5.

El modelo de Kuz Ram permite la estimación de la distribución de tamaño de roca fragmentada por voladura, el modelo combina cinco ecuaciones permitiendo una variedad de combinaciones de características de macizos rocosos, geometrías de voladura, y de propiedades de los explosivos. El nombre corresponde a una

abreviación de los principales contribuyentes del modelo: Kuznetsov y Rosin-Rammler, su aplicación ha sido extensa, aplicada tanto a datos publicados como a experimentales, y en general, se ha concluido que predice muy bien los tamaños gruesos pero es menos exacto para las fracciones más finas (Pérez, R., 2013).

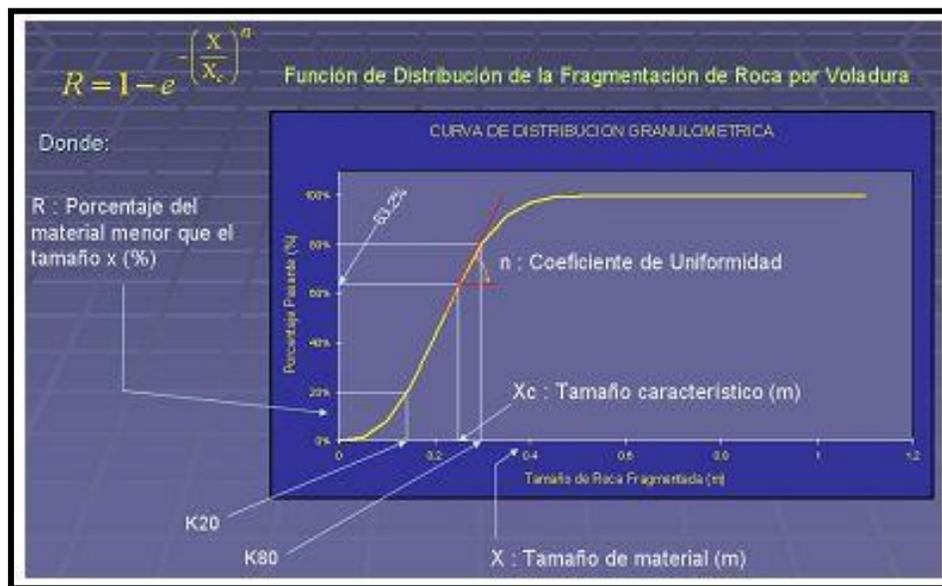


Figura 3.5 Distribución del tamaño de las partículas generadas por fragmentación. Fuente: Torres (2014)

3.7.1 Ecuación de Rosin-Rammler

La ecuación de Rosin-Rammler ha sido generalmente reconocida tanto en minería como en procesamiento de minerales que entrega una buena descripción del tamaño de las rocas voladas y trituradas. La curva se define por la siguiente fórmula 3.7 la cual le da una idea más clara del tamaño de las partículas generadas por la fragmentación.

$$R(x) = e^{-\left(\frac{x}{X_c}\right)^n} \quad (3.7)$$

Dónde:

R(x): Proporción del material retenido para una abertura de malla x .

X: Abertura de malla (cm)

Xc: Tamaño característico (cm). Corresponde a 62.9% del material pasante.

n: Coeficiente de uniformidad.

La importancia de los parámetros de Rosin-Rammler (X_c y n) se puede describir con referencia a tres curvas hipotéticas de distribución de tamaño, denominadas A, B y C; en las curvas A y B, se observa que el aumento o disminución del valor del tamaño crítico X_c , hace a la distribución de tamaño más gruesa, pero la curva permanece esencialmente paralela. Un aumento general en la energía del explosivo (o factor de carga) al reducir el espaciamiento se debe esperar mover la curva de distribución de tamaño en esta forma para producir una pila más fina a través del rango completo de tamaño.

Con referencias a las curvas A y C, se puede ver que al aumentar el índice de uniformidad n , se tiene el efecto de cambiar la pendiente de la curva. Disminuir la pendiente significa que el material se hace más grueso en el extremo superior y más fino en el inferior de la curva de distribución de tamaño. Cambiar “ n ” cambia por lo tanto ancho de la distribución de tamaño, o la uniformidad en el tamaño de la partícula producido por la voladura. El movimiento que tienda a producir concentraciones focalizadas de energía del explosivo, más que una distribución uniforme de energía (o sea, cambiar de un barreno de pequeño diámetro con una columna larga de explosivos o un barreno de gran diámetro con una columna corta de explosivos) se puede esperar que baje el n ya que la región de toca próxima a la columna corta de carga se quebrará más fina, mientras que el material adyacente a la columna larga del taco recibirá menor fragmentación (EXSA) (Pérez, R., 2013).

3.7.2 Ecuación de Kuznetsov.

La ecuación de Kuznetsov proporciona una estimación del tamaño medio de partículas de rocas después de la voladura, y está definida según la función mostrada en la Ecuación 3.8

$$X_{50} = A * \left(\frac{V_0}{Q}\right)^{0,8} * (Q)^{\frac{1}{6}} \quad (3.8)$$

Dónde:

X_{50} : tamaño medio del fragmento.

A: Factor de roca

V_0 : volumen de roca fragmentada por barreno

Q: masa de explosivo equivalente en energía a la carga de cada barreno.

La ecuación de Kuznetsov, establece que el tamaño medio de partículas de una voladura depende de las propiedades de la roca y del explosivo. El término (V_0/Q) representa el inverso del factor de carga equivalente. La ecuación, indica que el tamaño medio de la partícula disminuye casi linealmente con el aumento del factor de carga, es decir, a medida que el factor de carga aumenta el tamaño medio de partículas disminuye.; además, también sugiere una débil dependencia del peso del explosivo por barreno, diámetro de barrenos pequeños producirán una pila de material más fino en virtud de la distribución mejorada de energía (Pérez, R., 2013).

3.7.3 Ecuaciones de Kuz-Ram.

La ecuación de Kuznetsov proporciona una estimación del tamaño medio (tamaño del tamiz por el cual pasa el 50% de la roca). Puesto que la ecuación de

Rosin Rammler se puede definir completamente por un punto de la curva y la pendiente de la línea Rosin Rammler, todo lo que se necesita después de la determinación del tamaño medio, es una estimación de n es la ecuación de Rosin Rammler para calcular una distribución completa de tamaño de la pila. Para ello, Cunningham (1983) uso la teoría moderna de fracturas para obtener una relación entre n y los siguientes factores:

- Relación del retiro al diámetro del barreno.
- Relación espaciamiento/retiro.
- Relación del largo de la carga a la altura de banco.

Dada la extensa aplicación del modelo, en datos publicados y experimentales, se ha concluido que predice muy bien los tamaños gruesos pero es menos exacto para las fracciones más finas. Cunningham recalca que la exactitud es más importante para la fracción gruesa que para la fina (Pérez, R., 2013). Después de ajustes a la ecuación de Kuznetsov para permitir la expresión de la potencia en peso respecto al Anfo, las ecuaciones Kuz-Ram desarrolladas posteriormente son:

- Tamaño medio:

$$X_{50} = A * \left(\frac{V_0}{Qe}\right)^{0,8} * (Qe)^{\frac{1}{6}} * \left(\frac{115}{E}\right)^{0,633} \quad (3.9)$$

Dónde:

X_{50} = Tamaño medio del fragmento.

A = Factor de roca.

V_0 = Volumen de roca fragmentada por barrenos.

Qe = Masa real de explosivos usada por barrenos.

E= Potencia en peso relativo del explosivo (Anfo=100%).

(115/E)= Ajuste de Potencia en peso relativo del explosivo respecto del Anfo.

- Tamaño crítico:

$$Xc = \frac{X_{50}}{(0,693)^{\frac{1}{n}}} \quad (3.10)$$

Dónde:

Xc= Tamaño característico (cm) correspondiente al 62,9% del material pasante.

N= Coeficiente de uniformidad.

- Índice de uniformidad:

$$n = \left(2.2 - 12 * \left(\frac{B}{d} \right) * \left(\frac{1 + \left(\frac{S}{B} \right)}{2} \right) * \left(1 - \frac{W}{B} \right) * \left(\frac{ABS(BCL - CCL)}{Lt} + 0.1 \right)^{0.1} \right) \frac{L_0}{H} \quad (3.11)$$

Dónde:

n= Coeficiente de uniformidad.

D= Diámetro de perforación (mm).

B= Retiro (m).

S= Espaciamento (m).

W= Desviación de perforación (m).

BCL= Longitud de carga de fondo (m).

CCL= Longitud de carga de columna (m).

Lt= Longitud total de carga (m).

L₀= Longitud de carga sobre el nivel de piso (m).

H= Altura de banco.

- Fracción retenida:

$$R = e^{-\left(\frac{x}{XC}\right)^n} \quad (3.12)$$

Dónde:

R= Fracción retenida.

X= Abertura de malla (cm).

XC= Tamaño característico (cm).

N= Coeficiente de uniformidad.

3.7.4 Estimación del índice de uniformidad.

Examinando cada término en dicha ecuación, se revela la forma en que la geometría del barreno afecta a n; el primer término, que involucra al retiro y al diámetro del barreno, sugiere que a medida que el retiro aumenta para un diámetro fijo de barreno, el factor “n” disminuirá. El segundo término de la ecuación de Cunningham, que involucra a la relación S/B, sugiere que a medida que la relación S/B aumenta n también aumenta (un rango más estrecho de tamaño de partículas). Cunningham considera que este término refleja la malla de perforación, no la malla de iniciación y que la relación nunca debe exceder a dos (2). Dentro de estas limitaciones, nuevamente es completamente razonable que la uniformidad del tamaño de partículas debe mejorarse con el aumento de la relación S/B. El tercer término que involucra a la exactitud de la perforación, sugiere que a medida que mejora, n mejora. Esto nuevamente parece razonable. El cuarto término, que involucra el uso de la carga de fondo con explosivos de alta energía sugiere que n aumentara, aumentando el largo de la carga de fondo. El uso de una carga de fondo fue propuesto por Langefors y Kihlstrom para sobrepasar el confinamiento adicional y la dificultad

aumentada de fragmentación en la base de la voladura en banco. La energía más alta en esta sección de la voladura ayuda específicamente a mejorar la fragmentación. El término final en la ecuación de Cunningham, que involucra la relación del largo de la carga a la altura del banco, refleja la fragmentación mejorada esperada cuando la carga es distribuida uniformemente a través del banco. Diámetros grandes de barrenos conducen a cargas cortas y valores bajos para la relación larga de carga/altura del banco; conduciendo a su vez a una combinación de fragmentación gruesa en la región del collar o taco y una fragmentación fina en la base de la carga (Pérez, R., 2013).

3.7.5 Estimación del factor de roca.

Tal vez el parámetro más importante en el modo Kuz-Ram es el factor de la roca. Los últimos desarrollos en la aplicación del modelo usan una ligera modificación al índice de volabilidad de Lilly para calcular el factor de roca. Es interesante notar que la tabla de Cunningham uso para calcular el factor de roca es muy similar al índice de volabilidad usado por Lilly (1986) con una diferencia importante; Cunningham le dio mayor importancia a la dureza de la roca (Pérez, R., 2013).

$$A = 0.06(RMD) + JPS + JPA + RDI + HF \quad (3.13)$$

Dónde:

RMD= Descriptor de la masa rocosa.

JPS= Espaciamiento de las diaclasas verticales.

JPA= Angulo del plano de diaclasa.

RDI= Influencia de la densidad.

HF= Factor de dureza

3.8 Proceso de trituración de la roca

El último proceso por el que pasa el material, se realiza en la planta de trituración; en la cantera “Palma Sola” la transformación del mineral por trituración, se realiza por medio de una planta triturada de marca TELSMITH, conformada por una trituradora de mandíbula primaria de 36” x48” y una trituradora secundaria de cono SBS de 57”; para el adecuado procesamiento de la roca, los bloques deben poseer una dimensión máxima de noventa (90) centímetros, equivalentes a 36” pulgadas; las rocas al completar el primer proceso de trituración, son transformadas a fragmentos de aproximadamente cuatro (04) pulgadas de diámetro, siendo ésta una granulometría apta para avanzar a un segundo proceso de trituración, en el cual se obtiene un producto final de granulometrías variadas entre tres cuartos (3/4) de pulgada y una (01) pulgadas de diámetro. Las especificaciones técnicas de la trituradora primaria de mandíbula y de la trituradora secundaria de cono, se muestran en las Tablas 3.8 a la 3.12.

Tabla 3.8 Especificaciones técnicas de la trituradora de mandíbula TELSMITH (Listado de Maquinarias de la Cantera “Palma Sola”)

Especificaciones: Telmish 25”x40” a través de 55”x66” sobrecarga excéntrica trituradora de mandíbula	
Talla	36”x48”
Peso neto de trituradora (lb)	76.800
Exportación embalada peso (Lb) aprox.	78.400
Exportación embalada pie ³	1.100
HP requerido	200
Diámetro de polea por cara (pulg)	66x16
RPM (Revoluciones por minutos)	230

Tabla 3.9 Capacidad de la trituradora de mandíbula (Listado de Maquinarias de la Cantera “Palma Sola”)

Capacidad: Telmish 25”x40” a través de 55”x66” sobrecarga excéntrica trituradora de mandíbula	
Talla	Toneladas por hora
4”	290-435*
5”	328-492
6”	362-547
7”	408-620
8”	438-660

Tabla 3.10 Especificaciones de la trituradora de Cono (Listado de Maquinarias de la Cantera “Palma Sola”)

Especificaciones: serie SBS trituradora de cono	
Modelo	57 SBS
HP requerido	500
Trituradora Volante RPM	710
Peso (Lb)	76
Peso en caja para exportación (Lb)	77.500
Exportar contenido en Caja pie ³	1.570

Tabla 3.11 Capacidad de la trituradora de cono SBS – Circuito Abierto (Listado de Maquinarias de la Cantera “Palma Sola”)

Capacidad: serie SBS trituradora de cono- Circuito Abierto			
Rendimiento total de descarga			
Modelo		3/4” 19mm	1” 25mm
57 SBS	Stph	335-435	400-525
	Mtph	302-392	360-473

Tabla 3.12 Capacidad de la trituradora de Cono SBS – Circuito Cerrado (Listado de Maquinarias de la Cantera “Palma Sola”)

Capacidad: serie SBS trituradora de cono- Circuito Cerrado			
Rendimiento total de descarga			
Modelo		3/4” 19mm	1” 25mm
57 SBS	Stph	370-480	440-575
	Mtph	333-432	396-518

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Nivel de investigación

Arias (2006), establece que una investigación de tipo descriptiva es aquella que consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento; en este sentido, las autoras del presente proyecto, consideran que éste nivel investigativo se corresponde con la investigación desarrollada, en tanto, se encuentra orientada a la revisión y análisis de las labores mineras de producción, y en la caracterización geomecánica de las rocas, post voladura, en los frentes “C” y “D” de la cantera “Palma Sola”, con el fin de determinar las posibles causas que pudieron influir en la generación de bloques sobredimensionados de rocas, y evaluar la efectividad de las labores mineras ejecutadas.

4.2 Diseño de la investigación

Para Arias (2006), la investigación de campo está definida como aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. Ésta estrategia de investigación, fue adoptada por las autoras del presente proyecto, al adecuarse con mayor fidelidad a las actividades planificadas para la resolución del problema; gran parte de los datos fueron obtenidos a través de la observación directa, y la descripción de las labores mineras de producción, ejecutadas por el personal responsable del minado del mineral en la cantera “Palma Sola”, sin participar o alterar su ejecución.

4.2.1 Población y muestra de la investigación

La población de la investigación está definida por 108 bloques que se encuentran en un área de 0,88 Hectáreas de terreno; los cuales fueron inspeccionados para la toma de muestra.

Las muestras se encuentran definidas por el volumen total de setenta (70) kilogramos de roca, la cual fue dividido y preparado en seis (6) muestra en forma de cubo, para la realización del ensayo de compresión simple, y en seis (6) muestras en forma de regleta para la realización del ensayo de resistencia al corte por flexión; resultando en un total de doce (12) muestras de roca para la realización de ensayos geomecánicos.

4.3 Metodología de la investigación

La metodología se basó en el desarrollo de cinco fases como se puede describirse en la (Figura 4.1); las cuales están desglosadas por: a) fase I recopilación de información; b) fase II investigación de campo; c) fase III, laboratorio; d) fase IV análisis e interpretación de resultados, y finalmente, la fase V conclusiones y recomendaciones.

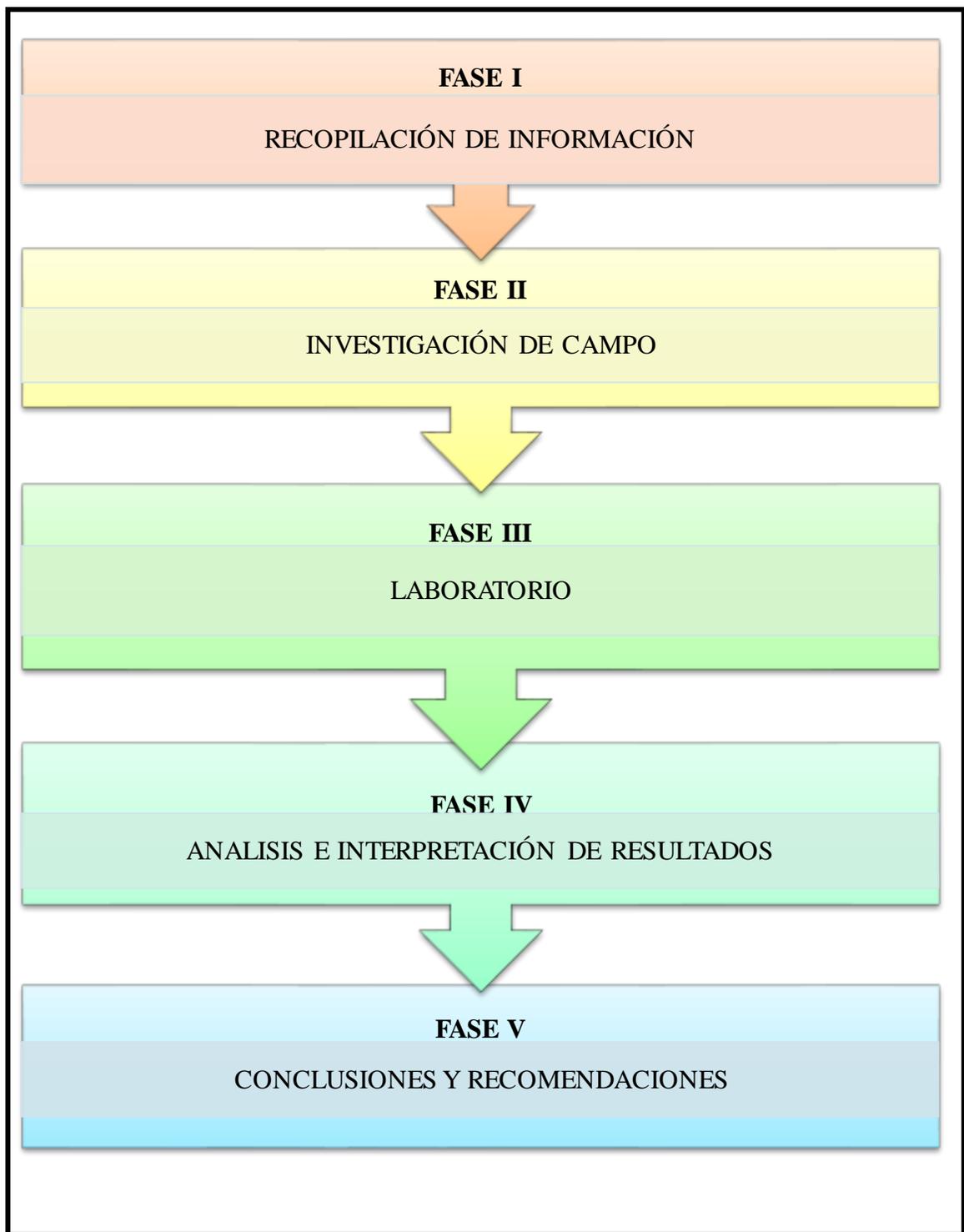


Figura 4.1 Fases de desarrollo de la investigación

4.3.1 Fase de recopilación de información.

Consistió en una revisión y análisis del material bibliográfico referentes a todas las características relacionadas a la zona, tales como libros, tesis de grado, revistas, información de la internet, y plano cartográfico.

4.3.2 Fase de investigación de campo

Durante la etapa de investigación de campo se realizaron varias visitas a los frentes de explotación “C y D” de la cantera Palma Sola, guiadas por el personal responsable del minado del mineral, con el fin de identificar los fragmentos generados por la voladura, también se fotografiaron los frentes de explotación registrando las condiciones de las fracturas de macizo rocoso al momento de las inspecciones. Finalmente se recolectaron muestras de rocas directamente de los frentes de explotación (Figuras 4.2 y 4.3)



Figura 4.2 Muestra de roca, correspondiente al frente “C”



Figura 4.3 Muestra de roca, correspondiente al frente “D”

4.3.3 Fase de laboratorio

Durante ésta fase, se procedió a la preparación y corte de las muestras de roca, la cual se realizó en los laboratorios del INGEOMIN, por medio de un cortador de disco diamantado (Figura 4.4). La preparación de las rocas dejó un total de doce (12) muestras, divididas en dos grupos, el primero conformado por seis (06) en forma de cubo (Figura 4.5) y el segundo por seis (06) en forma de regleta (Figura 4.6).



Figura 4.4 Cortadora de disco diamantado.



Figura 4.5 Muestras de roca preparadas en forma de cubo



Figura 4.6 Muestras de roca preparadas en forma de regletas

Una vez preparadas las muestras se procedió a realizarle los ensayos geomecánicos de compresión y flexión simple en la sede de INGEOCONTROL, los equipos utilizados es una prensa hidráulica de marca IBERTEST, modelos CPM-150 (Figura 4.7), una balanza SETRA modelo HI-4100S (Figura 4.8) y un vernier digital (Figura 4.9).

Para el ensayo de resistencia a la compresión simple se utilizaron muestras cortadas en forma de cubo, se toman sus diferentes medidas o dimensiones y su peso, luego se coloca en la prensa hidráulica; posteriormente, se lleva la lectura a cero (0) (lectura inicial) y se procede a aplicarle la fuerza axial hasta que fracture (Figura 4.10).



Figura 4.7 Prensa IBERTEST, modelo CPM-150



Figura 4.8 Balanza digital SETRA, modelo HI-4100S



Figura 4.9 Vernier digital.

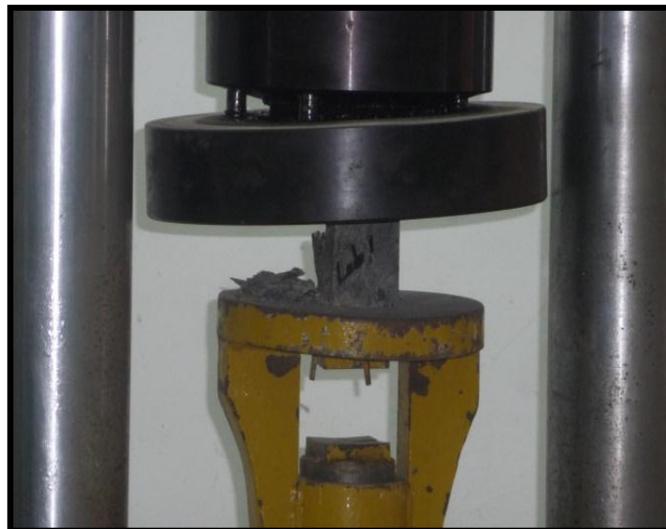


Figura 4.10 Cubo de roca fracturado, estado final del ensayo de compresión

Para la realización del ensayo de flexión simple, se procede a cortar la muestra en forma rectangular (regletas) con las características respectivas, luego se mide la longitud, ancho y altura (Figura 4.11), luego se pesa para el cálculo de volumen

(Figura 4.12); se coloca la muestra por encima de la placa de metal con dos (2) apoyos en la parte inferior y otra con un apoyo, que va colocado por encima de la muestra (Figura 4.13), se determina la separación que existe entre los apoyos inferiores se aplican las cargas ejercidas por la prensa, esas cargas son leídas por un manómetro (lectura en libras) donde se aprecian las lecturas iniciales y finales.



Figura 4.11 Determinación de la longitud de una de las regletas ensayadas



Figura 4.12 Determinación del volumen de una de las regletas ensayadas



Figura 4.13 Puntos de apoyo para producir la flexión de la regleta.



Figura 4.14 Regleta fracturada, estado final del ensayo de flexión simple.

4.3.4 Fase de interpretación de resultados

Una vez analizados los resultados de resistencia mecánica (ensayos de compresión simple y flexión simple) e índice RQD; se procedió a establecer las causas que intervinieron en la generación de bloques sobredimensionados de rocas, analizando de esta manera las características particulares la roca producto de la voladura en los frentes C y D.

4.3.5 Fase de conclusiones y recomendaciones

Es la determinación del producto final de la investigación.

CAPITULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Descripción de la Geología y Estructuras de las rocas “in situ” de la cantera “Palma Sola”.

En el área de estudio sólo se observaron rocas graníticas, clasificadas por Torres y Oliveira (2011) como gneises graníticos, correspondientes a la Provincia Geológica de Imataca; las rocas expuestas en los frentes de explotación son masivas, de coloración grisáceo claro (Frente “C”) a oscuro (Frente “D”), los cristales minerales son observables a simple vista y se presentan alineados en una dirección preferencial; el grado de meteorización es poco profundo alcanzando un espesor máximo de 30 centímetros; en superficie la roca es de marrón oscuro, con alteración a tonos claros, producto de la meteorización de los minerales menos competentes (feldespatos y plagioclasas) a arcillas residuales, estos gneises graníticos, son de grano medio, de color gris oscuro a parduzco, de meteorización poco profunda y planos de foliación que siguen una dirección este-noroeste a oeste-noreste; en muestra de mano, las rocas presentan aproximadamente un 30% de cuarzo, 45% de feldespatos, 10% de plagioclasas, y 15% de minerales ferromagnesianos, no descartan la existencias de minerales accesorios en las rocas.

Estructuralmente, fueron observadas diaclasas orientadas en dirección N45°W, y ángulos de buzamiento comprendido entre los 75 ° y 90 ° (Figuras 5.1 y 5.2), orientados en dirección SE; las autoras consideran que gran parte de las diaclasas, con ángulos de buzamiento vertical, corresponden a fracturamientos post voladuras, y no por efectos tectónicos; dado que, éstos ángulos de buzamiento, no corresponden con las tendencias regionales de la Provincia de Imataca.



Figura 5.1 Panorámica del frente de explotación exhibiendo las diaclasas en el macizo



Figura 5.2 Vista en detalle del grado de fracturamiento del macizo.

5.2 Descripción del método de explotación usado en la cantera “Palma Sola”

El sistema de explotación que se aplica en cantera Palma Sola es minería a cielo abierto, aplicando el método de Tajo Abierto (Open Cut), con altura de bancos de

quince (15) metros de altura, en dirección paralela al rumbo del yacimiento. Una vez preparado un frente de explotación, los equipos de producción comienzan con la explotación de un nivel específico, extendiéndose hasta el límite del yacimiento; una vez alcanzado un avance lo suficientemente grande como para poder construir una rampa de acceso, se procede a la apertura de otro frente.

5.3 Descripción del patrón de voladura utilizado en la cantera Palma Sola.

El esquema empleado en la Cantera “Palma Sola” es al tresbolillo (Figura 5.3), en este patrón se utilizan formatos triangulares equidistantes, en las cuales las separaciones entre líneas son menores que los espaciamientos, y los barrenos se encuentran ubicados en medio de los barrenos de las líneas anteriores y siguientes. Este patrón es usado principalmente en rocas de alta dureza y tenacidad, obteniéndose una mejor distribución de la energía del explosivo en la roca, y permite obtener una mayor flexibilidad en el diseño de la secuencia de encendido y dirección de salida de la voladura; este esquema produce la mejor fragmentación. Sin embargo, durante las inspecciones realizadas se pudo observar que el personal responsable del minado del mineral, no respetaba las equidistancias entre puntos de perforación, produciendo un patrón de forma irregular, además también se observó que la distancia entre perforaciones era demasiado amplia, superando en ocasiones los tres (03) metros de longitud; al no existir un patrón regular, controlado por perforaciones equidistantes, y fuera de un rango eficiente de explosión, no se puede garantizar, la correcta transferencia de la energía producida durante la explosión, deviniendo en la generación de bloques de rocas de dimensiones no adecuadas.

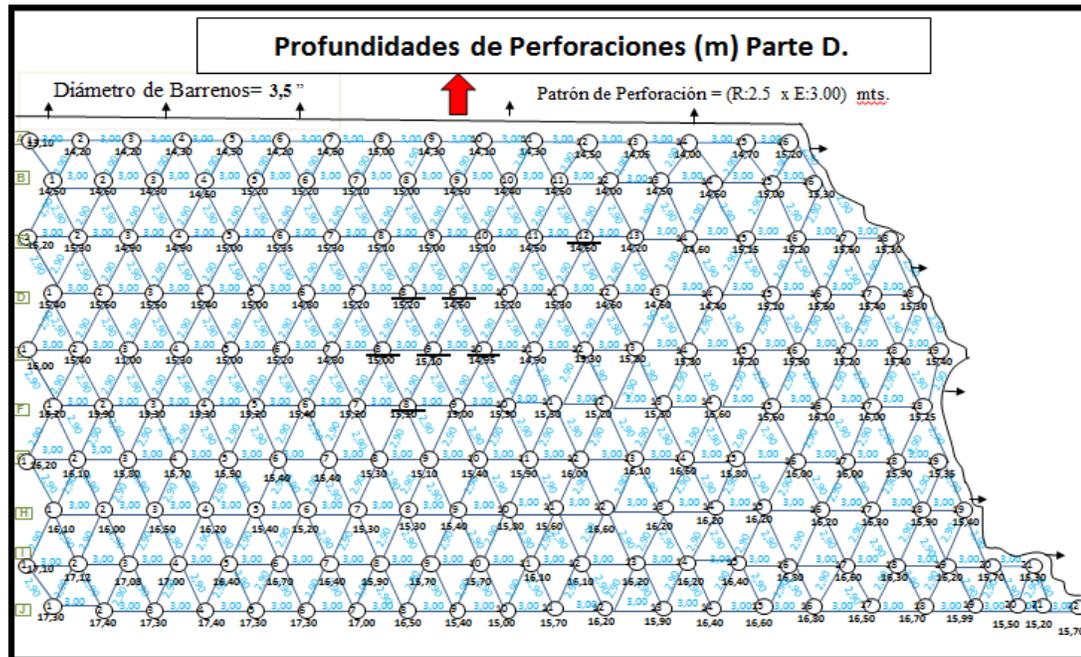


Figura 5.3 Esquema del patrón de voladura en los frente de “C” y “D”.

5.4 Descripción de las labores de perforación y voladura

La cantera Palma Sola realiza las labores de perforación con una perforadora hidráulica de marca DX700 Sandvik con martillo hidráulico, brocas de 3,5 pulgadas diámetro y cuatro (04) barras de cuatro (04) metros para perforar cada barreno, para un total de 410 barrenos entre los frentes “C” y “D”. La programación diaria de la cantera establece la perforación de seis (06) barrenos, con una profundidad variable entre 90 y 100 metros de longitud; sin embargo, durante las inspecciones realizadas se observó que, en ocasiones, las perforaciones no se realizaban de manera continua, debido a fallas en el equipo de perforación, falta de repuestos para su reparación y falta de suministros como brocas y barras; además, se pudo observar que la cantera no posee un plan de mantenimiento preventivo, por tanto, el mantenimiento solo se realiza cuando ocurre la falla del equipo. Respecto a la profundidad de los barrenos, las autoras consideran, más adecuado, realizar doce (12) perforaciones diarias,

tomando en cuenta que la perforadora tiene la capacidad de realizar quince (15) perforaciones de 29 metros de longitud para cada barreno.

En cuanto a las labores de voladura, en la cantera Palma Sola se observó que éstas se realizan con la utilización de una carga de fondo conformada por un explosivo empacado llamado SenateITM Ultrex™, resistente al agua, diseñado para aplicaciones de primado y para ser usado como columna explosiva de densidad media en minería. La alta velocidad de detonación y la naturaleza robusta de SenateITM Ultrex™ lo hace un cebador ideal para columnas de ANFO, la cual, es un explosivo de alto orden, ampliamente utilizado en voladuras de suelos rocosos, que consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo. La configuración de carga en el barreno se muestra en la Figura 5.4

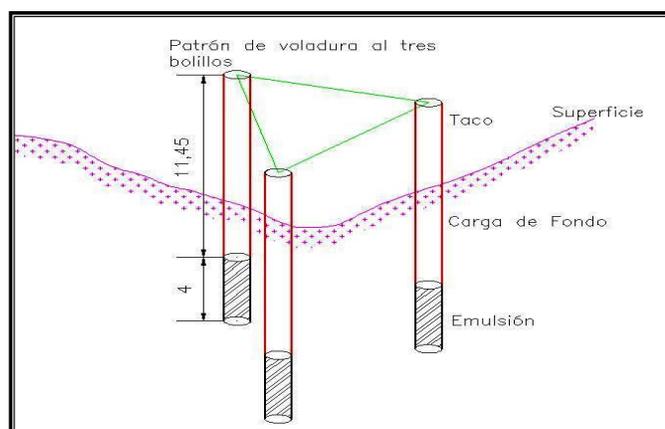


Figura 5.4 Configuración de la carga en los barrenos

En cuanto a las operaciones de voladura, lo principal es evaluar el frente que se va a volar, para hacer los cálculos del material de explosivo, mecha, booster, conectores que se va a requerir, para llevar a cabo dicha voladura. En la tabla 5.1 se presenta los cálculos de las voladuras de los frentes C y D objetos de estudio.

Tabla 5.1 Cálculos del material que se requiere para la voladura del Frente D y C

TOTAL MATERIAL SUGERIDO VOLADURA AGOSTO 2014: FRENTE D y C											
	Emulsión Senatel	Booster Minero	Booster Minero	Anfo (Sacos 20 Kgs)	Exel Handidet	Exel Handidet	Exel Handidet	Exel MS 11 (350	Exel Conectade	Mecha de Seguridad	Fulminant e N° 8
Frente D	107,00	170	218	515,00	186	170	218	20	10	6	
Frente C	43,0	0	224	154,00	224	0	224	14			
Bloques	2,00	0	0	2,00	60	0					
Extras	0	0	0	6	3	3	2	2	0	0	
TOTAL	152,00	170	442	677,00	473	173	444	36	10	6	

5.5 Análisis geomecánico de las rocas fragmentadas por voladura.

Las rocas fragmentadas por voladura en los frentes “C” y “D” de la cantera “Palma Sola” se presentan en bloques masivos, de bordes angulosos y forma irregular (Figura 5.5); el rango de tamaños varía, de manera heterogénea, entre los 24,8 y 241,0 centímetros de largo; el rango normal de tamaños se ubica los entre 43,7 y 145,1 centímetros, intervalo en el cual se concentra el 71,43% de los bloques examinados. Del total de 108 bloques inspeccionados se determinó que 51 de ellos poseen dimensiones superiores a los 90 centímetros de longitud, lo que equivale al 47,22% de los bloques revisados; éste valor supera por mucho el porcentaje máximo admisible por la empresa, que, de acuerdo a informaciones suministradas por el personal responsable del minado del mineral, es del 15%.



Figura 5.5 Rocas fragmentadas por voladura en el frente “D” (Escala=120 cm)

La evaluación cualitativa de las rocas se realizó por medio de la determinación de su resistencia mecánica a la ruptura, por medio de los ensayos de compresión y flexión simple, y la determinación del índice RQD; los resultados del ensayo de compresión simple obtenidos sobre cada cubo se muestra en la Tabla 5.2, indicando

que los cubos soportaron una resistencia promedio a la compresión de 685,67 kg/cm², lo que permite clasificarlas como rocas de resistencia media, según la clasificación de Deere y Miller, mostradas en la Tabla 3.1.

Tabla 5.2 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple

CÓDIGO	Peso (gr)	Volumen (cm ³)	Área (cm ²)	Densidad (kg/m ³)	Carga de Ruptura (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
FC1-2014	364,3	131,61	26,06	2.768	16.540	635
FC2-2014	343,6	131,61	25,81	2.610	15.310	593
FC3-2014	346,2	133,16	26,01	2.600	18.130	697
FD1-2014	353,5	134,71	25,95	2.624	15.500	597
FD2-2014	360,5	136,79	26,01	2.636	25.010	962
FD3-2014	359,7	137,12	26,42	2.624	16.640	630

Los resultados de los ensayos de flexión simple, mostrado en la Tabla 5.3, indican un valor de resistencia promedio de 180,83 Kg./cm², lo que permite clasificar las rocas dentro del rango de resistencia baja, según la clasificación de Deere y Miller, mostrada en la Tabla 3.3; las mismas consideraciones realizadas en los ensayos de compresión simple, con respecto a los bajos valores de resistencia obtenidos, aplican de igual manera, para éste ensayo.

Tabla 5.3 Resultados del ensayo de resistencia a la flexión simple

Muestra	Ancho (cm.)	Largo (cm.)	Espesor (cm.)	Carga Aplicada (Pulg.)	Carga Aplicada (Kg.)	Módulo de rotura (Kg./ cm. ²)
FC1-2014	4,14	2,58	13,2	530,00	5300,00	192
FC2-2014	4,11	2,60	13,2	530,00	5300,00	192
FC3-2014	4,10	2,57	13,2	530,00	5300,00	196
FD1-2014	4,01	2,35	13,2	540,06	5400,00	244
FD2-2014	4,05	2,68	13,2	440,00	4400,00	151
FD3-2014	4,13	2,73	13,2	340,00	3400,00	110

Debe tenerse en cuenta, que éstos resultados, corresponden a rocas post voladuras, en las cuales se han generado micro fracturas, que disminuyen el coeficiente de resistencia mecánica. Por tal motivo, se procedió a calcular el índice RQD de los frentes de explotación.

Para determinar el índice RQD; en campo, se procedió a medir un área de (1m^2) de los frentes; aleatoriamente se tomaron (4) segmentos de (1m^2) en los frente “C” y “D”, como se muestra en la (Figuras 5.6 y 5.7); posteriormente, se realizan los cálculos del RQD con la ecuación 3.3, la cual se utiliza cuando no hay sondeos, donde J_v es el número de juntas (Diaclasas) que se encuentran por m^3 en el afloramiento; los parámetros que se tomaron en cuenta fueron los ensayos geomecánicos (ensayos de compresión y flexión simple), y el número de diaclasas en los frentes; el promedio de diaclasas es de (4Diaclasas/ m^2) y del índice RQD en los frentes “C y D” es de 92,1.

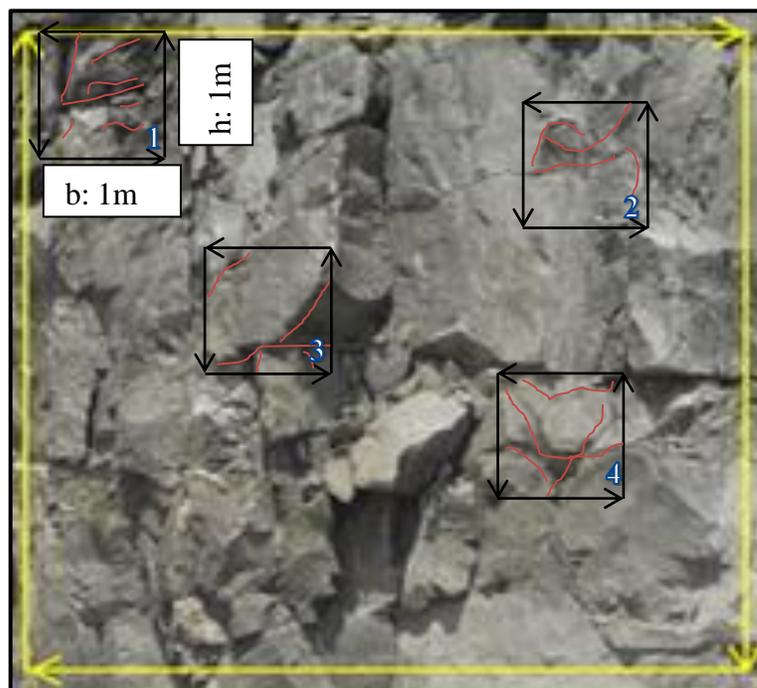


Figura 5.6 Conteo de diaclasas en una sección del Frente “C”

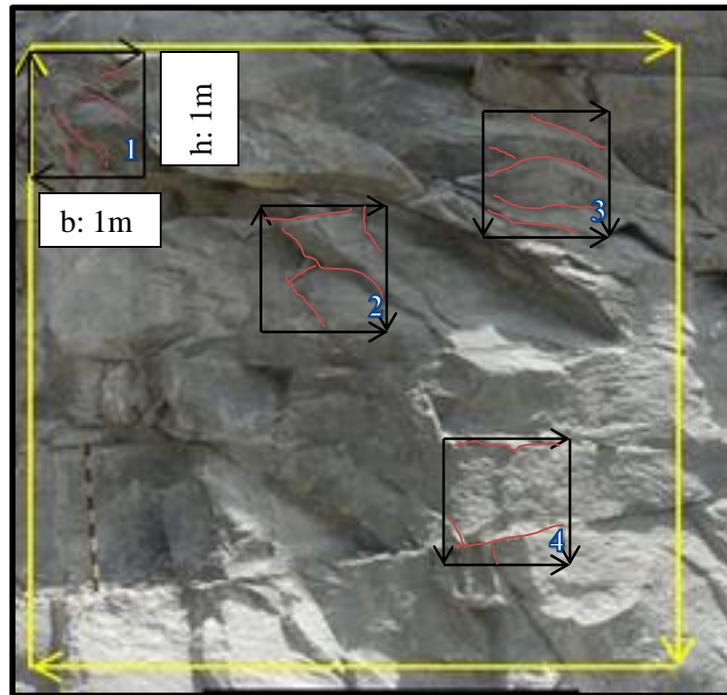


Figura 5.7 Conteo de diaclasas en una sección del Frente "D"

Los resultados de la estimación del índice RQD se muestran en la Tabla 5.4; mostrando un valor promedio de 92,1, lo que permite clasificar las rocas, bajo la categoría de excelente calidad, según los parámetros de clasificación de Deere, mostrados en la Tabla 4.1

Tabla 5.4 Resultados de la estimación del índice RQD en los frentes "C" y "D"

	Base	Altura	Área (m ²)	Promedio del N°Diaclasas	N ₂ (Diac/m ²)	Promedio J _v	Promedio del índice RQD
Frente "C"	1	1	1	4	6	7	91,48
Frente "D"	1	1	1	4	4	6,7	92,72

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se pudo observar que los frentes de explotación “C” y “D” de la Cantera “Palma Sola” corresponden a gneises graníticos de la Provincia Geológica de Imataca; las rocas en estos frentes, presentan un valor promedio de resistencia mecánica a la compresión simple de 685,67 kg/cm², y un promedio de resistencia a la flexión de 180,83 kg/cm²; lo que permite clasificarlas como rocas de resistencia media a la compresión, y baja a la flexión.

- La baja resistencia mecánica de las rocas, se debe a la presencia de microfisuras en ellas, posiblemente generadas durante la voladura de los frentes; debido a que estas microfisuras actúan como planos de debilidad, los cuales facilitan el fracturamiento de la roca.

- Se determinó que existe un sobredimensionamiento de los bloques en un 47,22% al máximo admitido por la cantera “Palma Sola”, el cual es del 15%; razón por la cual las voladuras efectuadas en los frentes “C” y “D” de la cantera se consideran no efectivas.

- Se determinó que el patrón de perforación para voladura empleado en la cantera no se aplica dentro de los términos correspondientes ya que los espaciamientos de los barrenos varían aleatoriamente, lo que pudiera no garantizar, la adecuada fragmentación de las rocas durante las voladuras.

- Se determinó que el índice RQD en los frentes de explotación C y D de la cantera Palma Sola, es de (92,1), que el macizo se clasifica bajo la denominación de excelente calidad.

Recomendaciones

- Se recomienda que se aplique el patrón de perforación y voladura en toda su extensión para garantizar óptimos resultados.
- Se recomienda utilizar las magas a la hora de rellenar los barrenos a fin de poder garantizar un disparo efectivo.

REFERENCIAS

Arias, F. (2006) **PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN, INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA.** 5ta Edición

Ascanio, O. y Palermo, M. (2001) **ESTUDIO GEOLÓGICO CON FINES ORNAMENTALES DE EXPLOTACIÓN DEL CERRO EL CHIVO, UBICADO EN EL FUNDO EL CHIVITO, MUNICIPIO AUTÓNOMO HERES-ESTADO BOLÍVAR.** Trabajo de Grado. Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.

Bellizia, M. (1974). **IMATACA SERIES, IN SPATIPICAL LEXICON OF VENEZUELA.** Léxico Estratigráfico de Venezuela, boletín biológico, Caracas. Publicación numero 1 Pp 250-256.

Deere, D. U. and R. P. Miller (1966) **“ENGINEERING CLASSIFICATION AND INDEX PROPERTIES OF ROCK,”** Tech. Report Air Force Weapons Lab., Nuevo México, 65-116.

Gil, M. (2001). **PERFORACIÓN Y VOLADURA.** Inédito. Tomo I y II. Pp16-32; 45-56.

Gonzales, L. (2004) **INGENIERÍA GEOLÓGICA** 2da edición.

Instituto Autónomo Minas Bolívar (2000). **TÍTULO MINERO CANTERA “PALMA SOLA” C.A.** Unidad de Archivo, Ciudad Bolívar Estado Bolívar.

Kalliokoski, J. (1965). **GEOLOGIA DE LA PARTE NORTE CENTRAL DEL ESCUDO DE GUAYANA, VENEZUELA.** Boletín geológico número 13. Caracas. Pp27-106.

López, J. (1987) **MANUAL DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS,** Instituto Geológico y Minero de España, Madrid – España.

Mendoza, V. (2000). **EVOLUCION GEOTECTONICA Y RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA (Y SU RELACION CON EL ESCUDO SUDAMERICANO)**. Ciudad Bolívar, Estado Bolívar, Venezuela.

Menéndez, A. Q. (1968). **VOLETIN DE GEOLIGIA**, Caracas, Vol.x, Numero 19. Pp 310-338.

Sing, R. (2006) **CONTROL DE LAS DIFERENTES GRANULOMETRÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO Y ASFALTO, Y ELABORACIÓN DIGITAL DE LAS MALLAS Y PATRONES DE PERFORACIONES REALIZADAS EN LA CANTERA PALMA SOLA**. Informe de Pasantía. Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.

Tarback, E.J; lutgens, F. (1998) **GEODE II. (WINDOWS)** Tasa Graphic Atrs, Inc., and Prentice Hall, Estados Unidos, pp. 54-72; 85-90

Torres, C., De Oliveira, R. (2011). **ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOTECNICO CLASIFICACION GEOMECANICA Y ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DEL MACIZO ROCOSO, DE LA CANTERA PALMA SOLA**. Municipio Heres, Ciudad Bolívar.

APENDICES

APENDICE A
MEMORIA FOTOGRAFICA



A.1. Rocas fragmentadas post voladura frente “C”



A.2. Rocas fragmentadas post voladura frente “D”



A.3. Estado final de las muestras en los ensayos de compresión y flexión simple

APENDICE B
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXION SIMPLE



UD 321, Zona Industrial Manzanas, Edif. Ingecontrol. Tel. 0265-9941894 / 9941893 Fax. 9941347 E-mail: laboratorio@ingecontrol.com

ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS
Designación normas (COVENIN 484-93)(ASTM C109-98)

ING-CON-03
 Fecha elab. 2002
 Última rev. enero-07

Ubicación:

Obra:

Cliente: Venus Williams

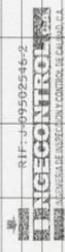
Características de los equipos utilizados para el ensayo

Muestra	Marca	Modelo / tipo	Serial N°	Fecha de calibración	Certificado de calibración N°	Calibración realizada por
Prensa	IBERTEST	CPM-150	1235	4 de febrero de 2014	LCF-0794	I.C.C., C.A.
	SETRA	HR-1100S	3805842	05/02/2014	LCM-1809	I.C.C., C.A.

Condiciones de ensayo

Temperatura ambiente de mezclado	
Temperatura ambiente de ensayo	
Humedad relativa del laboratorio	

N° Laboratorio	Muestreo		Descripción	Ensayo		MEDIDAS (cm)			Peso (gr.)	Volumen (cm³)	Área (cm²)	Densidad (Kg/m³)	Carga de Ruptura (Kg)	Resistencia Obtenida (Kg/cm²)	Resistencia Promedio (Kg/cm²)
	Fecha	Hora		Fecha	Hora	Edad (Días)	Lado 1	Lado 2							
1	21/05/14		FC1	02/07/14	04:20 p.m.	42	5,11	5,10	5,05	384,3	131,61	26,06	16.540	835	
2	21/05/14		FC2	02/07/14	04:25 p.m.	42	5,11	5,05	5,10	343,6	131,61	25,81	15.310	583	
3	21/05/14		FC3	02/07/14	04:30 p.m.	42	5,15	5,05	5,12	346,2	133,16	26,01	18.130	697	



Observaciones:

Inspección	Nombre Representante:	Nombre Representante:
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma	Firma	Firma
Contratista	Nombre Representante:	Nombre Representante:
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma	Firma	Firma
Ingecontrol	Técnico Laboratorial:	Técnico Laboratorial:
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Realizado por:	Realizado por:	Realizado por:
Revisado por:	Revisado por:	Revisado por:
Aprobado por:	Aprobado por:	Aprobado por:

B.1 Ensayos de compresión muestras FC



ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS
Designación normas (COVENIN 484-93)(ASTM C109-98)

ING-COH-03
Fecha elab. 2002
Última rev. enero-07

UD 321, Zona Industrial Matanzas, Edif. Ingecontrol. Tel. 0286-9941884 / 9941883 Fax. 9941347 E-mail: laboratorio@ingecontrol.com

Cliente: Venus Williams

Obra:

Ubicación:

Características de los equipos utilizados para el ensayo

Marca	Modelo	Descripción	Ensayo		MEDIDAS (cm)		
			Fecha	Hora	Lado 1	Lado 2	Altura
IBERTEST	CPM-150						
Modelo	CPM-150						
Serial N°	1235						
Fecha de Calibración	4 de febrero de 2014						
Certificado de calibración N°	LCF-0794						
Calibración realizada por:	I.C.C., C.A.						

Condiciones de ensayo

Temperatura ambiente de mezclado	
Temperatura agua de mezclado	
Humedad relativa del laboratorio	

N° Laboratorio	Muestreo		Descripción	Fecha	Hora	Edad (Días)	MEDIDAS (cm)			Peso (gr.)	Volumen (cm³)	Área (cm²)	Densidad (Kg/m³)	Carga de Ruptura (kg)	Resistencia Ordinaria (kg/cm²)	Resistencia Promedio (kg/cm²)
	Fecha	Hora					Lado 1	Lado 2	Altura							
1	21/05/14		FD1	02/07/14	04:20 p.m.	42	5,03	5,16	5,19	353,5	134,71	25,95	2.624	15.500	597	
2	21/05/14		FD2	02/07/14	04:25 p.m.	42	5,03	5,17	5,26	380,5	136,79	26,01	2.636	25.010	962	
3	21/05/14		FD3	02/07/14	04:30 p.m.	42	5,15	5,13	5,19	358,7	137,12	26,42	2.624	16.640	630	

Observaciones:



Inspección		Contratista	
Nombre:		Nombre:	
Representante:		Representante:	
Fecha:		Fecha:	
Revisado por:		Revisado por:	
Aprobado por:		Aprobado por:	
Firma:		Firma:	

Técnico Laboratorio: Julio González
Representante: Jorge Moreya
Fecha: Julio 2014
Revisado por: Julio González
Aprobado por: Luis Astudillo
Jorge Moreya



ENSAYOS A LA FLEXIÓN EN MUESTRA DE PIEDRA NATURAL
Designación normas (COVENIN 342 - 340) (ASTM C78)

Título: RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN
Cliente: Venus Williams
Proyecto: Ensayos
Ubicación:

Fecha de Toma: 21/05/2014
Fecha de Ensayo: 02/07/2014
Contrato: 02/07/2014
Procedencia de la Muestra:
Elaborado por: Julio Gonzalez / Laboratorio
Doc. Referencia: COVENIN 342, 340 / ASTM C78

Nº de Ensayo	Descripción	Fecha de Toma	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Peso	Ancho cm. (b)	Altura cm. (h)	Luz cm. (L)	Largo Total cm. (LT)	Carga kg. (P)	P · L (kg/cm)	b · h ² (cm ³)	Modulo de Rotura kg/cm ² (r)
1	FC1 - 2014	21/05/2014	02/07/2014	42	368.31	4.14	2.58	10	13.2	530.00	5.300.00	27.557496	192
2	FC2 - 2014	21/05/2014	02/07/2014	42	368.59	4.11	2.6	10	13.2	530.00	5.300.00	27.7636	191
3	FC3 - 2014	21/05/2014	02/07/2014	42	362.08	4.1	2.57	10	13.2	530.00	5.300.00	27.08009	196



$a =$ Distancia entre la falla y el apoyo mas cercano con respecto al eje.
 $f_r = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$ Si la falla ocurre en el tercio medio de la luz.
 $f_r = \frac{3 \cdot P \cdot a}{b \cdot h^2}$ Si la falla ocurre fuera del tercio medio de la luz y a una distancia no menor de 5%.



Observaciones:

Nombre/Firma: _____ Nombre/Firma: _____
 Nombre/Firma: _____ Nombre/Firma: _____
 Nombre/Firma: _____ Nombre/Firma: _____
 Nombre/Firma: _____ Nombre/Firma: _____
 Nombre/Firma: _____ Nombre/Firma: _____

Cliente
Venus Williams
Nombre/Firma



ENSAYOS A LA FLEXIÓN EN MUESTRA DE PIEDRA NATURAL
Designación normas (COVENIN 342 - 340) (ASTM C78)

Título: RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN
Cliente: Venus Williams
Proyecto: Ensayos
Ubicación:

Contrato: 02/07/2014
Fecha: 02/07/2014
Página:

Procedencia de la Muestra:
Elaborado por: Julio Gonzalez / Laboratorio

Doc. Referencia: COVENIN 342, 340 / ASTM C78

Nº de Ensayo	Descripción	Fecha de Toma	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Peso	Ancho cm. (b)	Altura cm. (h)	Luz cm. (L)	Largo Total cm. (LT)	Carga kg. (P)	P · L (kg/cm)	b · h ² (cm ³)	Modulo de Rotura kg/cm ² (R)
1	FD1 - 2014	21/05/2014	02/07/2014	42	344.41	4.01	2.35	10	13.2	540.00	5.400.00	22.145225	244
2	FD2 - 2014	21/05/2014	02/07/2014	42	386.58	4.05	2.68	10	13.2	440.00	4.400.00	29.08872	151
3	FD3 - 2014	21/05/2014	02/07/2014	42	323.18	4.13	2.73	10	13.2	340.00	3.400.00	30.780477	110



Observaciones:

$a = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$ Distancia entre la falla y el apoyo mas cercano con respecto al eje.
 $f_r = \frac{3 \cdot P \cdot a}{b \cdot h^2}$ Si la falla ocurre en el tercio medio de la luz.
 $f_r = \frac{3 \cdot P \cdot a}{b \cdot h^2}$ Si la falla ocurre fuera del tercio medio de la luz y a una distancia no menor de 5%.

Nombre/Firma: _____ **Nombre/Firma:** _____
Nombre/Firma: _____ **Nombre/Firma:** _____

Cliente: Venus Williams
Nombre/Firma: _____

B.4 Ensayos de flexión simple muestras FD

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS:**

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."

Natyliaanni Millán

Millan S, Natyliaanni

AUTOR

Venus Williams

Williams A, Venus C.

AUTOR

Luis Araya

Prof. Luis Araya**TUTOR**

María Rojas

Prof. María Rojas**JURADO 1**

Nelson Medori

Prof. Nelson Medori**JURADO 2****POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**