

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE ADECUACIÓN DE
LAS PLANTAS DE AGREGADOS DE LA CANTERA
CARAYACA, DISTRITO CAPITAL, PARA DISMINUIR
LA PRODUCCIÓN DE FINOS**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Pimentel S. Reinaldo R.
Para optar al título de Ingeniero de Minas

Caracas, noviembre de 2016.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE ADECUACIÓN DE
LAS PLANTAS DE AGREGADOS DE LA CANTERA
CARAYACA, DISTRITO CAPITAL, PARA DISMINUIR
LA PRODUCCIÓN DE FINOS**

TUTORA ACADÉMICA: Profa. Katherine Silva

COTUTOR ACADÉMICO: Prof. Miguel Castillejo

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Marianne Garrido

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Pimentel S. Reinaldo R.,
Para optar al título de Ingeniero de Minas

Caracas, noviembre de 2016.

Caracas, 11 de noviembre del 2016

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el consejo de la escuela de Geología minas y geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller Reinaldo R. Pimentel S., titulado:

“DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE ADECUACIÓN DE LAS PLANTAS DE AGREGADOS DE LA CANTERA CARAYACA, DISTRITO CAPITAL PARA DISMINUIR LA PRODUCCIÓN DE FINOS”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Mina, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el Br. Reinaldo Pimentel, lo consideran APROBADO.

Profra. Katherine Silva
(Jurado)

Profra. Sasha Cazal
(Jurado)

Profra. María Teresa Artigas
(Jurado)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por ser el guía y protector en el camino recorrido, por haberme dado vida y salud, sabiduría y fortaleza para llegar hasta la meta y poder culminar esta etapa. Gracias Señor!!

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, por la calidad educativa que recibí de sus docentes y preparadores durante mi tiempo de formación, mil gracias por su contribución.

A mi madre, Yudit Silvera, por haberme dado el ser, y por inculcarme los valores que siempre me llevaron por el buen camino. Sin ti esta meta no hubiese sido posible. Te Amo mama!!

A mi Padre, Roberto Pimentel, quien es mi ejemplo de esfuerzo y templanza, mi razón de ser, lo que soy. Te Amo papa!!

A mis hermanos que de una manera u otra siempre han sido mi apoyo, tanto económico como emocional durante estos largos años de estudio. Los quiero mucho.

A todos mis amigos y compañeros que de una manera u otra estuvieron junto a mí en los momentos más fuerte de la carrera y que junto a ellos viví una bella etapa.

A Yusbelys Méndez, Winder Gavidia, Daniel Seijas y Adalgiza Santiago, quienes han estado junto a mí, en las buenas y las malas, brindándome su cariño, amistad y apoyo incondicional. La verdad es que sus palabras de aliento me motivaron a seguir adelante y no desfallecer ante las adversidades que se presentaron durante la realización de este proyecto.

Finalmente a la Profa. Katherine Silva, al Prof. Miguel Castillejo y a la Ing. Marianne Garrido, quienes con su paciencia, sabiduría y responsabilidad supieron encaminarme en la culminación tan anhelada de este proyecto.

A TODOS MIS ETERNOS AGRADECIMIENTOS.

Pimentel S., Reinaldo R.

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE ADECUACIÓN DE
LAS PLANTAS DE AGREGADOS DE LA CANTERA
CARAYACA, DISTRITO CAPITAL, PARA DISMINUIR
LA PRODUCCIÓN DE FINOS**

Tutora Académica: Profa. Katherine Silva. Cotutor Académico: Prof. Miguel Castillejo. Tutor Industrial: Ing. Marianne Garrido. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2016, 118 p.

Palabras Claves: Planta, Agregados, Construcción, Geología, Morfometría.

Resumen: El presente trabajo de investigación tiene por objeto el desarrollo de una propuesta de adecuación de las dos plantas de agregado de la Cantera “Carayaca” para disminuir su producción de finos (partículas menores a 7,1 mm).

La cantera está ubicada en la localidad de la Hacienda Boca de Topo, perteneciente a la jurisdicción del municipio Libertador, Distrito Capital, para la fecha de estudio la misma es dirigida por la “Empresa Vargense de “Canteras y Minas” (VARCAM), C.A., dicha empresa procesa Marmól y esquisto para obtener agregados comerciales como piedra número uno 1”, piedra $\frac{3}{4}$, arrocillo, ripio y polvo de piedra. Durante el procesamiento de estas rocas se genera una producción de partículas finas que supera en un 19 % la producción de agregado grueso, situación que con el transcurrir del tiempo, ha llevado a la empresa a almacenar dicho material en los límites de las terrazas donde se encuentran emplazadas sus plantas, lo que ocasiona pérdida de material por erosión hídrica e ineficiencia en las labores mineras. Para resolver esta problemática la mayoría de los datos fueron adquiridos a través de: una recolección sistemática de muestras en el frente de explotación y en los circuitos de trituración de cada una de las plantas, una representación de estructuras geológicas y por la ejecución de ensayos geomecánicos, granulométricos y de desgaste. La información recopilada fue usada para determinar la calidad del macizo, para un diagnóstico de la distribución granulométrica en cada planta y para un estudio del comportamiento del material ante el cribado. A pesar de que la calidad del macizo es normal, según el índice de calidad de Bieniawski; el grado de fracturación de la roca y la baja

resistencia a la compresión del esquisto, le confieren una granulometría al material de alimentación de las plantas que involucra un 20,75 % de partículas finas y una proporción mármol-esquisto de aproximadamente 50:50, esta distribución causa un efecto “colchon” en las cámaras de trituración de los equipos de disminución de tamaño, elevando la generación de finos y el desgaste de los agregados. El equipo que produce más partículas finas en Planta 1 es la trituradora de cono Symons, en cambio, para Planta 2, es la tritura de impacto XCMG. La primera propuesta de adecuación de Planta 1 consiste en la instalación de un alimentador vibratorio tipo *Grizzly*, el cual separara las partículas finas del todo uno, minimizando el efecto que causan en la cámara de fragmentación del triturador primario. La capacidad y dimensión de este equipo estará sujeta al flujo de alimentación de esta planta. La segunda propuesta de planta uno la cual consiste en una pila pulmón con selección mecánica de fragmentos mediante un balde tipo rastrillo, se fundamenta en la propuesta anterior, sin embargo, la misma involucra una modificación de la proporción de fragmentos de esquisto y de mármol. La propuesta de adecuación de Planta 2 busca disminuir un 12,41 % la producción de finos de los equipos, mediante la desincorporación de la trituradora de impacto XCMG.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivo general	4
1.3 Objetivos específicos.....	4
1.4 Justificación	4
1.5 Alcance y limitaciones	5
CAPÍTULO II. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	6
2.1 Descripción de la empresa.....	6
2.1.1 Reseña histórica.....	6
2.1.2 Misión	7
2.1.3 Visión	8
2.1.4 Objetivos	8
2.2 Ubicación y características generales del área de explotación.....	8
2.3 Características del medio físico.....	9
2.3.1 Clima.....	9
2.3.2 Precipitación.....	9
2.3.3 Suelos	10
2.4 Proceso de producción de la cantera	10
2.4.1 Planta de procesamiento mineral	11
2.4.2 Flujograma de las plantas.....	15
2.4.3 Características del material de alimentación de las plantas	20
CAPÍTULO III. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO	22
3.1 Geología regional	22
3.2 Geología local.....	23
3.3 Definición estructural del yacimiento	26
CAPÍTULO IV. MARCO TEÓRICO	29
4.1 Aspectos a considerar en la clasificación de un macizo.....	29

4.1.1	Estado de conservación de la roca	30
4.1.2	Métodos de caracterización de macizo rocoso.....	32
4.1.3	Criterio de Hoek-Brown.....	34
4.2	Fragmentación	36
4.2.1	Voladura.....	36
4.2.2	Mecánica de fractura.....	37
4.2.3	Trituración individual de partículas	39
4.2.4	Tamaño y forma de las partículas en la fragmentación.....	41
CAPÍTULO V. MARCO METODOLÓGICO		44
5.1	Diseño y tipo de investigación	44
5.2	Población y muestra	44
5.3	Instrumentos y técnicas	44
5.4	Procedimiento experimental.....	46
	Etapas I: Trabajo de campo	46
	Etapas II: Ensayos	47
	Etapas III: Caracterización del Macizo Rcoso	49
	Etapas IV: Trabajo de oficina.....	50
CAPITULO VI. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS		52
6.1	Características Mecánico estructurales del macizo rocoso	52
6.2	Análisis dimensional del todo uno de alimentación.....	69
6.3	Puntos críticos de generación de finos	73
6.4	Comportamiento del material ante el cribado	86
CAPITULO VII. PROPUESTA DE ADECUACIÓN.....		90
CONCLUSIONES		94
RECOMENDACIONES		96
REFERENCIAS CONSULTADAS		98
ANEXOS.....		101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Equipos de carga y acarreo	11
Tabla N°2. Trituración primaria.....	18
Tabla N°3. Trituración secundaria	18
Tabla N° 4. Trituración primaria.....	19
Tabla N° 5. Trituración secundaria	19
Tabla N° 6. Trituración terciaria	20
Tabla N° 7. Alimentación y producción mensual	20
Tabla N° 8. Valores Promedio del análisis granulométrico por tamizado	21
Tabla N° 9. Características generales de la roca	26
Tabla N° 10. Sistema de diaclasas y plano de foliación	27
Figura N° 13. Sistema de diaclasas en el Frente 2	28
Figura N°14. Detalles de las diaclasas paralelas.....	28
Tabla N° 11. Clasificación de Rocas Meteorizadas	31
Tabla N° 12. Métodos de clasificación de macizos rocosos	32
Tabla N° 13. Categoría de dureza del material a base de RCS	38
Tabla N° 14. Familia de discontinuidades presentes en la Zona A.....	54
Tabla N° 15. Resultado de los ensayos de compresión simple en las muestras.....	60
Tabla N° 16. Resultado de los ensayos a tracción en las muestras.	62
Tabla N° 17. Calculo del RQD mediante la ecuación empírica de Palmstrom.....	64
Tabla N° 18. Cálculo del índice I_b	65
Tabla N° 19. Valoración de las Características las discontinuidades	66
Tabla N° 20. Valoración total del macizo rocoso para la Zona A.	66
Tabla N° 21. Calculo del coeficiente de uniformidad y concavidad del todo uno....	69
Tabla N° 22. Porcentaje de partículas gruesas y finas dentro del todo uno	70
Tabla N° 23. Comparación porcentual de los tipos de alimentación en el triturador primario de planta1	73

Tabla N° 24. Comparación de los tipos de alimentación en el triturador secundario de planta1	74
Tabla N° 25. Porcentaje de finos generados por el triturador primario de Planta 2 .	78
Tabla N° 26. Porcentaje de finos generados por el triturador secundario de Planta 2	80
Tabla N° 27. Porcentaje de finos generados por el triturador terciario de Planta 2..	81
Tabla N° 28. Distribución porcentual de los finos generados dentro y fuera de las operaciones de plata	84
Tabla N° 29. Porcentaje de desgaste de las dos litologías presentes en la cantera “Carayaca”	85
Tabla N° 30. Resistencia a la compresión simple frente al índice de desgaste de los ángeles	86
Tabla N° 31. Mejoras obtenidas con la alimentación tipo 2	91
Tabla N° 32. Posibles mejoras tras la aplicación de la propuesta.	91
Tabla A.1. Clasificación geomecánica RMR Beniawki (1989)	101
Tabla A.2. Clasificación geomecánica RMR de Beniawki (1989)	101
Tabla A.3. Descripción del espaciado según el ISRM (1981)	102
Tabla A.4. Descripción de la continuidad según el ISRM (1981)	102
Tabla A.5. Descripción de la abertura según el ISRM (1981)	102
Tabla A.6. Tabla de índice de campo para suelo según el ISRM (1981).....	103
Tabla A.7. Resistencia de la roca sana según el (ISRM, 1981)	104
Tabla A.8. Descripción del tamaño promedio de bloque en función del número de discontinuidades	104
Tabla A.9. Valoración de las características de las discontinuidades	104
Tabla A.10. Peso de la carga abrasiva.....	104
Tabla A.11. Peso de las muestras según cada tipo de gradación	104

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 2. Comportamiento geomecánico del macizo	67
Grafico N° 3. Distribución granulométrica del todo uno de alimentación	68
Grafico N° 4. Distribución granulométrica del triturador primario de Planta 1	74
Grafico N° 5. Distribución granulométrica del triturador secundario de Planta 1....	75
Grafico N° 6. Distribución granulométrica final de Planta 1.....	76
Grafico N° 7. Distribución granulométrica del triturador primario de Planta 2	79
Grafico N° 8. Distribución granulométrica del triturador secundario de Planta 2.....	80
Grafico N° 9. Distribución granulométrica del triturador terciario de Planta 2.....	81
Grafico N° 10. Distribución granulométrica final de Planta 2.....	82
Grafico N° 11. Distribución granulométrica final de las muestras ensayadas en la máquina de los ángeles	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Administración de la empresa, junta directiva.....	7
Figura N° 2. Ubicación de la Zona de estudio	9
Figura N° 3. Planta 1 (planta Tacagua).....	13
Figura N° 4. Planta 2 (tren chino)	15
Figura N° 6. Diagrama de los equipos y balance de masa de Planta 1	16
Figura N° 7. Diagrama de los equipos y balance de masa de Planta 2	17
Figura N° 8. A) Esquistos grafitosos - granatíferos, Cuarzo calcáreos. B) Mármol compacto en parte sur del frente 4 (base de la frecuencia litoestratiGráfico expuesta)	24
Figura N° 9. A) Cuerpo de Anfibolita rodeado de rocas calcáreas formando la típica estructura “boudinage”	24
Figura N° 10. Secuencia litológica del frente 2.Fuente	25
Figura N° 11. A) Esquistos granatíferos - grafitosos. B) Mármol gris masivo y Cuarcitas bandeadas	25
Figura N° 12. Ubicación de la falla de Tacagua.	27
Figura N° 15. Efecto escala en un macizo rocoso	29
Figura N° 16. Estructuras secundarias	30
Figura N° 18. Envolvertes de rotura del criterio de Hoek y Brown.....	35
Figura N° 19. Esquema de un ensayo de compresión simple	38
Figura N° 20. Las superficies de fractura en modo mixto exhiben pétalo transversal múltiple como fracturas inclinadas con respecto al plano de la modalidad principal de la fractura.	39
Figura N° 21. Los finos generados bajo diferentes mecanismos de carga. Las muestras preparadas con mezclas de yeso y arena. Fuente:	40
Figura N° 22. Categorías de las formas de Zigg.....	41
Figura N°23. Esquema metodológico	45
Figura N°25. Afloramiento frente dos (2).....	51

Figura N°26. División por Zonas de frente dos (2)	53
Figura N°27. Principales familias de discontinuidades presentes en el frente 2.....	54
Figura N°28. Familia de diaclasas D1, D2 y planos de foliación en el banco inferior	55
Figura N°29. Familia de diaclasas D3 y planos de foliación en el banco inferior....	55
Figura N°30. Familia de diaclasas y planos de foliación en el banco superior	56
Figura N°31. Rugosidad en las discontinuidades	57
Figura N°32. Relleno de alguno de los planos de diaclasa D3	58
Figura N°33. Alteración de las discontinuidades de la Zona “A”	59
Figura N°34. Ensayos de compresión simple	61
Figura N°35. Muestras de rocas extraídas del macizo rocoso de la cantera “Carayaca” para ser sometidas a ensayos de tracción	63
Figura N°36. Variación Granulométrica del material volado en el Frente 2	71
Figura N°37. Toma de muestras en los circuitos de las plantas de la cantera “Carayaca”	72
Figura N°38. Puntos críticos de generación de finos en Planta 1	77
Figura N°39. Puntos críticos de generación de finos en Planta 2	83
Figura N°40. Muestras ya clasificadas de acuerdo a la gradación Tipo A	87
Figura N°41. Muestras después del ensayo de los ángeles	87
Figura N°42. Desgaste del material causado por los paños de las cribas	88
Figura N°43. Alimentador vibratorio tipo <i>Grizzly</i> . Tomado de: <i>Directindustry</i>	89
Figura N°44. Distribución de tamaños para la pila pulmón.....	90
Figura N°45. Balde rastrillo de 3 Ton para cargadores frontales.....	90
Figura N°46. Flujograma desarrollado en función de la propuesta	92
Figura A.1. Perfil de rugosidad según el ISRM (1981)	103

INTRODUCCIÓN

La cantera Carayaca, perteneciente a la gobernación del estado Vargas y dirigida por la “Empresa Vargense de “Canteras y Minas” (VARCAM), C.A.”, se dedica a la extracción, procesamiento y venta de agregados comerciales como piedra número uno 1”, piedra $\frac{3}{4}$, arrocillo, polvo de piedra, ripio y arena. La misma cuenta con dos plantas de reducción de tamaño y clasificación dimensional con diferentes configuraciones.

Un diagnóstico realizado por Gavidia W. y Pimentel R. (2014), sobre las dos plantas de agregados para conocer los balances de masa de cada circuito, demostró que la producción de finos supera en un 19 % la producción de agregado grueso, proporcionando un valor numérico a un problema que a simple vista es evidente. El agregado fino al ser un producto con una demanda variable por parte de la industria de la construcción de obras civiles, pasa a ser un material que debe ser almacenado por largos periodos de tiempo, en áreas que entorpecen el libre desarrollo de las operaciones mineras, y en sectores con pendientes moderadas no aptos para este tipo de uso.

El presente trabajo tiene por objetivo desarrollar una propuesta de adecuación de las dos plantas de agregados de la cantera Carayaca, con la finalidad de disminuir la producción de agregados finos poco comerciales. Para identificar la principal causa de generación de finos de sus operaciones se realizó una recolección sistemática de muestras en el frente de explotación y en los circuitos de trituración de cada una de las plantas, una representación de estructuras geológicas, una serie de ensayos geomecánicos en roca, una clasificación del macizo, un diagnóstico de la situación actual de la distribución granulométrica en cada planta y un estudio del comportamiento del material ante el cribado.

El proyecto se encuentra estructurado de la siguiente manera: Capítulo I, relacionado con la problemática de la investigación. Capítulo II, donde se encuentran las generalidades de la empresa. Capítulo III, en el que se describe la geología del yacimiento. Capítulo IV, se establece el marco teórico para una mejor comprensión de lo expresado en los resultados. El Capítulo V, en el cual se reseña el marco

metodológico del trabajo. El Capítulo VI, muestra los resultados obtenidos. Capítulo VII muestra la propuesta de adecuación de cada planta. Por ultimo las conclusiones y las recomendaciones.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

La presente sección tiene como finalidad definir el contexto de la investigación las razones que lo originaron y la convirtieron en un problema, el objetivo principal a desarrollar y los específicos necesarios para cumplir con esta investigación.

1.1 Planteamiento del problema

La cantera Carayaca cuenta con dos plantas de reducción y clasificación con diferentes configuraciones, de estas se obtienen agregados comerciales usados para diferentes fines en la industria de la construcción de obras civiles.

Un diagnóstico realizado por Gavidia W. y Pimentel R. (2014), demostró que la producción de finos supera en un 19 % la producción de agregado grueso. Este comportamiento se convierte en un problema, ya que los áridos finos (tamaños menores a 7,1 mm) al ser productos comerciales con una demanda cambiante en el mercado de áridos, tienden a presentar una baja extracción por ventas, lo que ocasiona el almacenamiento progresivo del mismo.

Ante esta problemática la cantera se ha visto en la obligación de almacenar sus agregados finos de demanda cambiante y acumulación progresiva, en los límites de las terrazas donde se encuentran emplazadas sus plantas, lo que ocasiona pérdida de material por erosión hídrica e ineficiencia en las labores mineras, afectando directamente la productividad de la empresa.

Este trabajo se centró en la identificación de aquellos puntos en donde se genera una producción elevada de finos respecto a los agregados gruesos y, no obstante, explicar el porqué de este comportamiento, a partir, de las características geológicas, físicas y mecánicas de la roca, para poder así desarrollar una propuesta de adecuación de las plantas de agregados, que disminuya su producción de finos.

1.2 Objetivo general

Desarrollar una propuesta de adecuación de las plantas de agregados de la cantera Carayaca, Distrito Capital, para disminuir la producción de finos.

1.3 Objetivos específicos

- Caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso en el frente de explotación para relacionarlo con la calidad del material producto de la voladura.
- Analizar la distribución dimensional del material con el que son alimentadas las plantas, para establecer su relación con la calidad del macizo rocoso.
- Diagnosticar la situación actual de la distribución dimensional del producto de cada equipo de reducción de tamaño, para identificar los puntos críticos de generación de finos en la operación.
- Estudiar el comportamiento del material ante el cribado a nivel de laboratorio.
- Desarrollar la propuesta de adecuación de las plantas de agregado, con el fin de disminuir la producción de finos.

1.4 Justificación

El mercado nacional de agregados para la construcción integrado principalmente por áridos gruesos y finos, tuvo una actividad acorde con las necesidades del país hasta el año 2005 (El Nacional, 2005). Sin embargo, este escenario se ha visto modificado con el crecimiento del desarrollo urbanístico en el país, el cual ha generado una demanda creciente de insumos que ha superado la oferta.

Actualmente la demanda está enfocada a agregados gruesos necesarios para la fabricación de mezclas asfálticas, concreto premezclado y en la construcción de obras civiles, que incluye todas las obras sociales que está llevando a cabo el estado Vargas y el municipio libertador en la actualidad.

La cantera Carayaca al presentar una producción de agregado fino fuera de los valores teóricos normales que sugieren los balances de masa de cada una de sus plantas, se ve en una situación, donde la demanda del mercado aumenta la

probabilidad de que estos finos pasen de ser un producto comercial con extracciones por ventas bajas, a uno en donde el potencial de daño ambiental por su acumulación progresiva es cada vez mayor. La empresa pensando en mejorar su gestión ambiental, ha tomado la decisión de apoyar esta investigación para determinar cuál es la principal causa de generación de finos en sus operaciones y de esta manera poder contar con una propuesta técnica que les permita disminuirla.

Este trabajo beneficiara directamente a la gerencia de producción de la “Empresa Vargense de “Canteras y Minas” (VARCAM), C.A.”, al determinar la principal fuente de generación de finos de sus plantas. Por otro lado la comunidad de la Zona se verá beneficiada a posteriori, al disponer de un ambiente libre de pasivos ambientales que podrían ser causados por la acumulación y arrastre de partículas finas.

1.5 Alcance y limitaciones

El alcance del estudio se concentró en desarrollar una propuesta de adecuación, de los circuitos de reducción de tamaño de cada una de las plantas de beneficio de no metálicos que posee la cantera, no obstante, solo fueron desarrollados aspectos técnicos asociados a la misma.

Con este fin se llevó a cabo una investigación geológica, física y geomécanica del material en el frente de explotación y un diagnóstico de la situación actual de las plantas, mediante análisis granulométricos y diagnósticos con equipos de laboratorio, Por otro lado, es importante destacar que la empresa no contaba con suficientes estudios geomecánicos previos que pudieran ser utilizados como información base para el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

El presente capítulo tiene como finalidad dar a conocer la información relacionada con la historia, misión, visión y objetivos de la empresa, así como la ubicación y características físicas de la Zona de explotación.

2.1 Descripción de la empresa

2.1.1 Reseña histórica

La empresa estatal “Empresa Vargense de “Canteras y Minas” (VARCAM), C.A.” se creó bajo decreto de la Gobernación del estado Vargas bajo el número No.11°-2013 de fecha 27 de diciembre del 2013, con la finalidad de garantizar los servicios y calidad de vida de las presentes generaciones en cumplimiento con lo establecido en la constitución de la República Bolivariana de Venezuela y el Plan de la Patria, a través de sus políticas de bienestar; impulsando la construcción de viviendas, edificaciones, autopistas, terminales entre otras. Para lo cual se hace necesario la producción de materia prima (agregados para la construcción) que permita cumplir con las metas planteadas, contribuyendo con el progreso económico y social de la población del estado Vargas mediante la implementación de una política de desarrollo sustentable.

A razón de lo antes expuesto nace VARCAM C.A, la cual está ubicada en la avenida La Armada, urbanización fundación Mendoza, parroquia Urimare, municipio Catia La Mar, frente al elevado Zamora, en el edificio sede de la ferretería socialista piso uno. La administración de la empresa es ejercida por la Junta Directiva, donde el Gobernador del estado asigna una labor a cada uno, tal como se muestra en el organigrama de la Figura N° 1 (VARCAM, C.A , 2015).

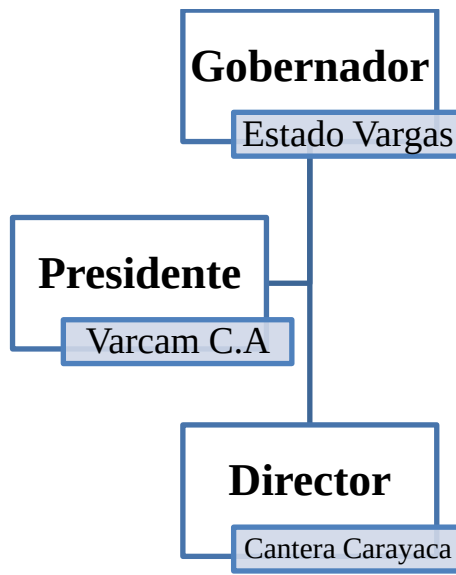


Figura N° 1. Administración de la empresa, junta directiva. Fuente: Estatutos legales y administrativos, VARCAM C.A. (2015)

La empresa cuenta con un equipo de profesionales, técnicos y obreros en los diferentes escalafones administrativos que componen la estructura organizativa de la empresa, los cuales identificados con la visión y misión de la empresa dedican su tiempo al desarrollo productivo de la misma a través de la explotación planificada de agregados, mediante eficientes controles y una transparente administración.

Con el objetivo de iniciar la comercialización y distribución de materiales de construcción se creó una ferretería socialista para cubrir las necesidades de material del colectivo y las obras llevadas a cabo en el estado Vargas.

2.1.2 Misión

La empresa Vargense de Canteras y minas debidamente adscrita a la gobernación del estado Vargas, tiene como misión la exploración, perforación, dragado y explotación a cielo abierto, para la obtención selectiva de minerales no metálicos de la corteza terrestre a partir del valioso esfuerzo individual de cada uno de los trabajadores de la organización. Así como también desarrollar proyectos y alianzas estratégicas asegurando una mejor distribución de los ingresos y logros de las metas (VARCAM, C.A , 2015).

2.1.3 Visión

Ser una empresa líder, de calidad y alta capacidad productiva en la extracción, industrialización y comercialización de minerales no metálicos de la corteza terrestre, asegurando una sostenida credibilidad a través de productos y servicios de alta calidad y rentabilidad, mediante el uso sustentable de los agregados. Así como también el desarrollo de proyectos mineros y obras para el beneficio del estado, mostrando que el sector privado y el sector público pueden alcanzar altos niveles de excelencia (VARCAM, C.A , 2015) .

2.1.4 Objetivos

La compañía tiene como objeto y propósito la exploración, explotación, almacenamiento, transporte y comercialización de minerales no metálicos, premezclado, cemento, concreto así como la construcción, obras de inversión social con las comunidades en el mantenimiento y restauración de obras de infraestructura en general, subcontratación de empresas y de personal, compra, venta y alquiler de maquinarias pesadas de vehículos de transporte, mantenimiento de colectores de agua principal (ríos). Igualmente podrá realizar alianzas estratégicas y sociedades comerciales con otras empresas nacionales e internacionales y cualquier otro acto de comercio relacionado con su objeto (VARCAM, C.A , 2015).

2.2 Ubicación y características generales del área de explotación

El área de estudio se encuentra ubicada en la localidad de la Hacienda Boca de Topo, perteneciente a la jurisdicción del municipio Libertador, Distrito Capital cuyo acceso se encuentra en el Km. 11 de la autopista Caracas-La Guaira. Se accede cruzando a la derecha en el Sector el Limón, después de la pasarela, pasando por el túnel debajo de la autopista y atravesando la quebrada de Tacagua, donde se hace un recorrido de 2 Km hasta llegar a las instalaciones de la empresa, tal y como se muestra en la Figura N° 2 (VARCAM, C.A , 2015).



Figura N° 2. Ubicación de la Zona de estudio. Tomado de: *Google Earth*

2.3 Características del medio físico

2.3.1 Clima

La Zona de la cantera se caracteriza por presentar un clima templado tropical de montaña con dos períodos muy bien marcadas: lluvioso (de mayo a noviembre en algunas Zonas, pudiendo ser también entre abril y noviembre) y seco (de diciembre hasta marzo). El período de lluvias coincide con la época de mayor incidencia de los rayos del sol, mientras que el período seco coincide con los meses de menor incidencia de los rayos solares (VARCAM, C.A , 2015).

2.3.2 Precipitación

En el área de estudio la precipitación anual varían entre los 900 y 1300 mm anuales, en la propia ciudad, y hasta los 2000 mm en algunas partes de la cordillera; la temperatura media anual es de 21,1 °C, siendo la media del mes más frío (enero) de 19,6 °C y la media del mes más cálido (junio) de 22,0 °C, lo que da una amplitud térmica anual escasa, de sólo 3 °C. En los meses de diciembre, enero y febrero aparecen abundantes nieblas frías.

Según Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), el promedio anual de días por debajo de los 20 °C es de 301 días, y de 323 días por debajo de los 25 °C. Mientras que rara vez las temperaturas llegan a 30 °C, el promedio anual de días por encima de los 30 °C es de 12°C y por encima de los 35 °C solo 3 días al año. También la máxima temperatura registrada es de 37 °C, y la más baja es de 7 °C. El promedio de días de lluvia es de 105 días.

2.3.3 Suelos

El área de estudio presenta características de movimientos de masas, como el desprendimiento de taludes y movilización de terraplenes que pueden originar un tipo de suelo residual. De igual forma se presenta una movilización de colusión, suelo residual y sustrato rocoso blando en cuevas de buzamiento, En esa área encontramos rocas meteorizadas y blandas; en las Zonas más altas se presentan caídas de bloques ciclópeos por áreas estructurales en rocas coherentes, con un tipo de roca metamórfica dura y fracturada. En el ápice de las montañas se nos presenta una movilización de suelo residual y caída de los bloques en contrapuestas de buzamiento, en un tipo de roca blanda y dura muy fracturada (VARCAM, C.A , 2015).

2.4 Proceso de producción de la cantera

El aprovechamiento racional y sustentable del material no metálico de la cantera Carayaca es regido por la ley de minerales no metálicos del Distrito Capital, la cual tiene por objeto regular el aprovechamiento de este recurso no renovable, incluyendo todas las actividades conexas que comprenden: almacenamiento, tenencia, circulación, transporte y comercialización interna o externa.

La cantera Carayaca labora en el horario establecido por la Ley de Trabajo, de lunes a viernes con un horario de 7:00 am hasta las 4:00 pm y el día viernes de 7:00 am hasta las 12 pm, el inicio de las operaciones tarda 30 minutos directamente después de cumplida la hora de descanso. Cabe destacar que se trabaja un solo turno, tanto administrativa como operacionalmente.

El desarrollo de la explotación de la cantera Carayaca se da como un proceso a cielo abierto, donde actualmente se labora con una planificación a corto plazo, en el cual se trabaja en la explotación de un solo banco y se realizan solo voladuras con perforaciones verticales.

Los equipos de carga y acarreo de esta cantera están descritos en la tabla N°1, donde se presentan los detalles de los mismos:

Tabla N° 1. Equipos de carga y acarreo. Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

Equipo	Cantidad	Marca	Capacidad
Cargador frontal 78221	1	BELAZ	6 m ³
Cargador Frontal LW800	1	XCMG	4,5 m ³
Retroexcavadora XE230	1	XCMG	1 m ³
Retroexcavadora 324DL	1	CATERPILLAR	2 m ³
Camión articulado D25C	1	CATERPILLAR	14 m ³

El proceso de carga y acarreo se lleva a cabo en ciclos de aproximadamente 10 minutos, diariamente realizan cerca de 39 a 48 ciclos en un día de trabajo efectivo, con una producción de 80,58 m³/hora en una distancia de 1,7 Km, dependiendo de la velocidad de los equipos operantes. El camión es llenado por un cargador frontal, el cual hace tres pases para efectuar la carga del equipo, el equipo de carga tiene como capacidad 4,5 m³. El equipo de acarreo es cargado con 13,5 m³ y llevado a descargar en el patio de la planta.

2.4.1 Planta de procesamiento mineral

La cantera “Carayaca” posee dos plantas de trituración, Planta 1 y Planta 2. La primera con aproximadamente 20 años de instalada tiene una capacidad instalada de 200 t/h, la segunda es una planta de fabricación china con una capacidad instalada de 300 t/h, puesta en operación en agosto del 2014 ambas producen como producto final agregados para la construcción (Gavidia W. y Pimentel R., 2014).

Planta 1

La planta de agregados para la construcción número 1 de la cantera Carayaca consta de cinco equipos principales que generan la disminución de tamaño, clasificación y distribución por productos del todo uno con que se alimenta. Ésta planta beneficia actualmente 62,19m³/h de minerales no metálicos, produciendo 21,06m³/h de ripio, 15,02m³/h de piedra picada, 9,09m³/h de arrocillo y 17,02m³/h de arena.

El primer equipo de la Planta 1 es la tolva de alimentación en conjunto con el alimentador vibrante. Éste alimenta directamente a la trituradora de mandíbula (segundo equipo), la cual genera la primera disminución de tamaño mediante un mecanismo de fragmentación de abrasión e impacto que generan sus forros ondulados (tipo losas). El material ya triturado es transportado por una cinta 1-CT01 que alimenta a la primera criba del circuito (tercer equipo) la cual posee dos cuerpos de malla que dividen el material proveniente de la trituradora de mandíbulas en tres grupos de dimensiones distintas; la malla 1 tiene una apertura de 1"x1" y la 2 de 3/8"x 3/8". El material retenido de la primera malla (partículas mayores a 1") va directamente hacia un equipo de trituración secundaria, el pasante de esta malla y retenido de la segunda (partículas mayores a 3/8" y menores a 1") es transportado por las cintas 1-CT02 y 1-CT03 hacia otra criba, que a su vez clasifica también el material saliente de la trituración secundaria; finalmente, el material pasante de la malla 3/8" (partículas menores a 3/8") es despachado por la cinta 1-CT04 como un producto de este circuito. Este producto se trata del ripio del todo uno.

El equipo de trituración secundaria al que es transportado el material de granulometría mayor a 1" es una trituradora de conos, el material saliente del mismo es transportado por las cintas 1-CT02 y 1-CT03 hacia la segunda criba del circuito (quinto equipo) la cual posee tres cuerpos de mallas con apertura de 1/4" para la primera, 5/8" para la segunda y malla #3 para la tercera, según la clasificación ASTM standard. El primer producto clasificado por esta criba es el rechazo de la primera malla (partículas mayores a 1 1/4") y son transportados por la cinta 1-CT05

nuevamente hacia la trituradora de conos, produciendo un circuito cerrado entre este cono y la criba dos. Los tres productos restantes de este circuito son proporcionados por esta criba mediante la clasificación por dimensión, el primer producto (piedra picada) tiene una granulometría comprendida entre 5/8" y 1 1/4", y se obtiene por el material pasante de la primera malla de la criba (1 1/4") y retenido del segundo (5/8"). El segundo producto (arrocillo) es el material pasante de la malla de 5/8" y retenido de la malla de apertura #3. El material pasante de la malla #3 constituye el último producto (arena

En la Figura N° 3 se pueden observar los equipos antes descritos.



Figura N° 3. Planta 1 (planta Tacagua). Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

Planta 2

La Planta 2 de agregados para la construcción consta de seis equipos principales que generan la disminución, clasificación y distribución del todo uno con el que es alimentada. Este todo uno proviene del frente dos al igual que la Planta 1 pero con una distancia de acarreo menor, lo que hace que esta posea una alimentación más continua que la anterior asegurando una producción horaria mayor.

El primer equipo del circuito es el alimentador vibrante con cernido el cual se encuentra acoplado a una tolva de alimentación que posee una capacidad de aproximadamente 11,24 m³. Esta máquina elimina las partículas más pequeñas, siendo estas el primer producto del circuito (ripio) que es descargado por la cinta 2-CT01.

El material rechazado por esta cernidora, cae a la trituradora de mandíbula que se utiliza como equipo primario de trituración y otorga la primera disminución de tamaño del material mediante un mecanismo de abrasión e impacto. El material triturado es transportado hacia una trituradora de impacto por las cintas 2-CT02 y 2-CT03 dispuestas en forma consecutiva. Esta última alimenta al equipo de trituración secundaria del circuito, que se trata de una trituradora de impacto

Al salir de la trituradora de impacto, el material es transportado por las cintas 2-CT04 y 2-CT05 instaladas consecutivamente, esta cinta alimenta la primera criba del circuito, la cual se encuentra en posición horizontal y posee una sola malla de 7/16",

El rechazo de la malla es transportado por la cinta 2-CT06 hasta una trituradora de cono, que funciona como equipo de trituración terciaria. El material pasante de la malla cae en dos cintas transportadoras, colocadas una al lado de la otra horizontalmente y en forma paralela. Luego el material pasa por la cinta 2-CT07 respectivamente, para ser transportado a la segunda criba del circuito que posee dos mallas clasificadoras, una de 3/8" y la otra corresponde a una malla #3 según la nomenclatura ASTM standard. Las mismas dividen el material en tres grupos diferenciados por su distribución granulométrica, que son tres productos finales del circuito de trituración. El retenido del primer paño de esta criba es la piedra 3/4" (uno de los productos de la planta) con una distribución granulométrica comprendida entre 3/8" y 7/16". El pasante del primer paño y retenido del segundo (partículas con granulometría entre #3 y 3/8") corresponde al arrocillo, y el material pasante de la malla #3 corresponde al polvo de piedra. La piedra 3/4" es transportada desde la criba hasta la Zona de apilamiento por la cinta 2-CT12, el arrocillo lo transporta hacia la pila la cinta 2-CT13, finalmente, el polvo de piedra lo transporta la cinta 2-CT14

El material que sale de la trituradora de conos, es transportado por las cintas 2-CT08 y 2-CT09 dispuestas de forma consecutiva hacia la tercera criba de clasificación. Esta criba posee dos mallas, la primera con una apertura de 1" y la segunda de 3/8". El material mayor a 1" clasificado por esta criba cae nuevamente a la trituradora de cono, generando un circuito cerrado con este. Las partículas con granulometría comprendida entre 3/8" y 1" corresponden a otro producto de este circuito (piedra picada). Las partículas pasantes de la malla 3/8" son transportadas por la cinta 2-CT11 de 10,50 nuevamente hacia la criba dos que clasifica el material como piedra 3/4", arrocillo y polvo de piedra. La piedra picada se transporta hacia la pila de almacenamiento por la cinta 2-CT10. En la Figura N° 4 se muestra la ubicación de cada equipo.



Figura N° 4. Planta 2 (tren chino). Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

2.4.2 Flujograma de las plantas

El tratamiento del material se muestra a continuación de forma esquemática, mediante diagramas compuestos para cada planta de trituración, la Figura N°6 y N° 7 presentan cada uno de los equipos que conforman las mismas con su respectiva codificación, señalando el sentido del flujo del material. Se representan los componentes del circuito que intervienen en el proceso de trituración y clasificación,

indicando el nombre, la razón de reducción de los equipos de fragmentación y el balance de masas teórico y real de las plantas.

Planta 1

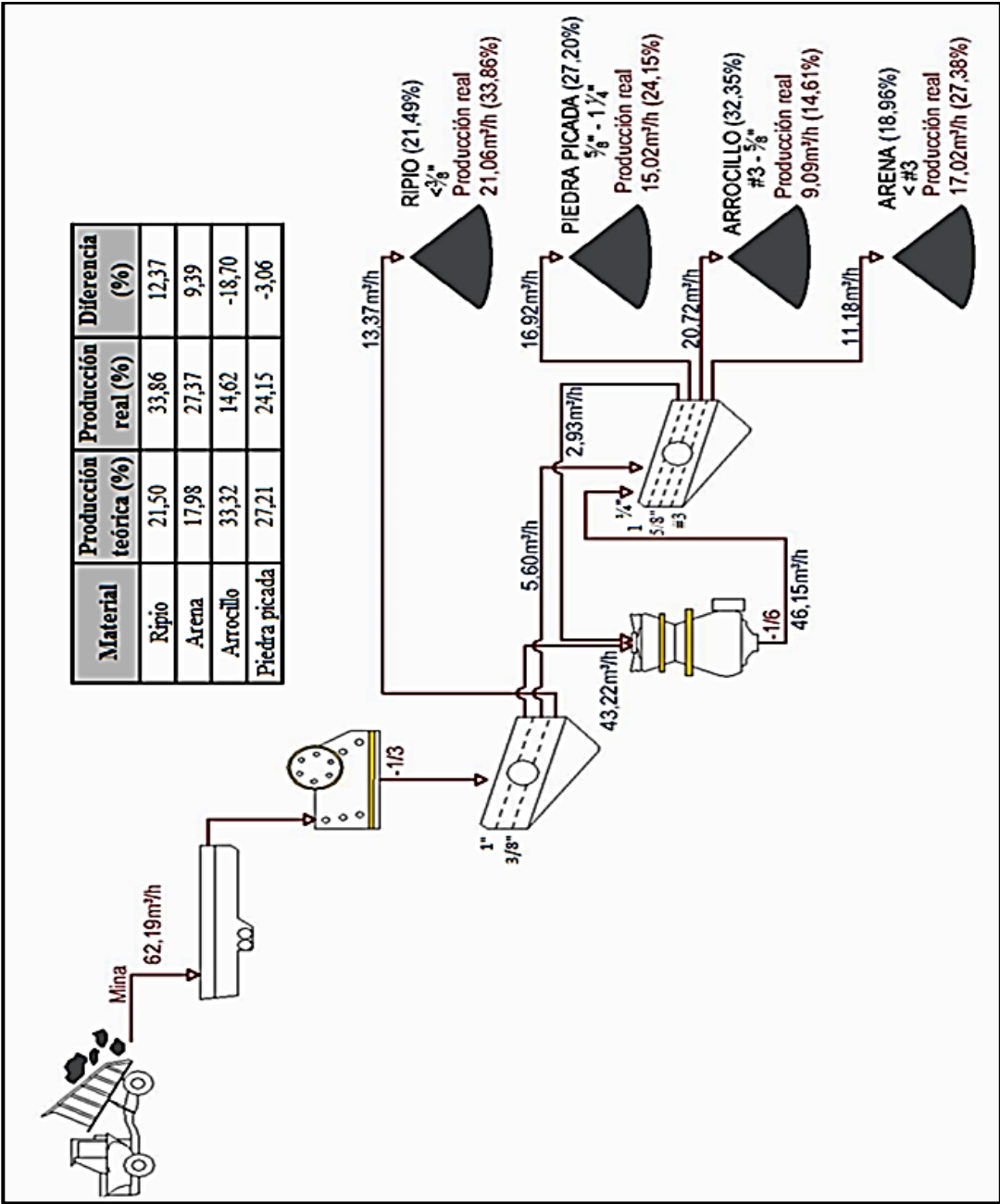
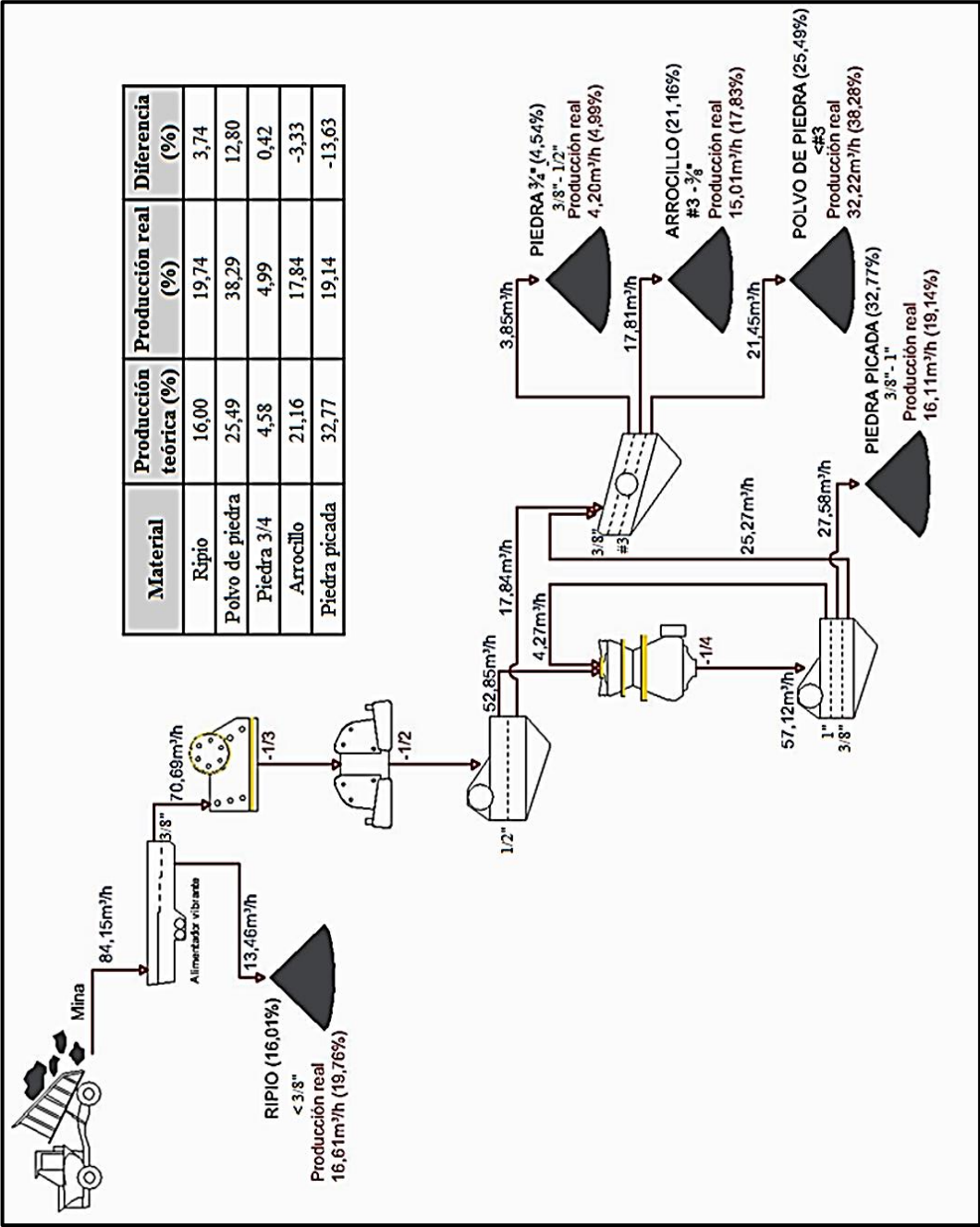


Figura N° 6. Diagrama de los equipos y balance de masa de Planta 1. Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

Planta 2



Dentro de los circuitos de beneficio de no metálicos de la cantera Carayaca se dispone de los siguientes equipos de disminución de tamaño, los cuales son mostrados en las Tablas N°2, N°3, N°4, N°5, N°6 y N°7, donde se especifican los aspectos técnicos relacionados a cada uno.

Dónde: “Sa” es salida en posición abierta y “Sc” Salida en posición cerrada.

PLANTA 1: Planta Carayaca

- **Trituradora de mandíbula:**

Tabla N°2. Trituración primaria

Especificaciones técnicas	
Código	1-TM00
Marca	REXNORD
Modelo	B3187
Razón de reducción	1/3
Capacidad instalada	160-300 t/h
Capacidad utilizada	124,38 t/h
Tipo de forro	ONDULADO
Dimensión de la boca de entrada (m)	0,60*1,00
Dimensión de la boca en Sa (m)	0,20*1,00
Dimensión de la boca en Sc (m)	0,16*1,00

Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

- **Trituradora de cono:**

Tabla N°3. Trituración secundaria

Especificaciones técnicas	
Código	1-TC00
Marca	SYMONS
Modelo	4401-L
Razón de reducción	1/6
Capacidad instalada	115-260 t/h
Capacidad utilizada	92,15 t/h
Diámetro de la boca de admisión (m)	0,90
Separación de los forros en S_a (m)	0,076
Separación de los forros en S_c (m)	0,00635

Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

Planta 2: Tren chino

- **Trituradora de mandíbula:**

Tabla N° 4. Trituración primaria

Especificaciones técnicas	
Código	2-TM00
Marca	XCMG
Modelo	PE-1000x1200
Razón de reducción	1/3
Capacidad instalada	160-300 t/h
Capacidad utilizada	141,38 t/h
Tipo de forro	Dentado
Dimensión de la boca de entrada (m)	0,93*1,20
Dimensión de la boca en S_a (m)	0,27*1,20
Dimensión de la boca en S_c (m)	0,17*1,20

Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

- **Trituradora de impacto:**

Tabla N° 5. Trituración secundaria

Especificaciones técnicas	
Código	2-TI00
Marca	XCMG
Modelo	PE-1316
Razón de reducción	1/3
Capacidad instalada	150-300 t/h
Capacidad utilizada	141,38 T/h
Dimensión máxima de la boca de entrada(m)	1,77*1,75

Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

- **Trituradora de cono:**

Tabla N° 6. Trituración terciaria

Especificaciones técnicas	
Código	2-TC00
Marca	XCMG
Modelo	DMC-460
Razón de reducción	¼
Capacidad instalada	115-260 t/h
Capacidad utilizada	114,28 t/h
Diámetro de la boca de admisión (m)	0,91
Separación de los forros en S_a (m)	0,076
Separación de los forros en S_c (m)	0,015

Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

- **Producción de las plantas**

Tabla N° 7. Alimentación y producción mensual

	Alimentación horaria (m³/h)	Producción mensual (m³/mes)
Planta 1	62,19	9.950,40
Planta 2	84,15	13.464,00

Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

2.4.3 Características del material de alimentación de las plantas (todo-uno)

La composición del material de alimentación (todo-uno) determina la producción de los géneros que de ella se elaboran, por lo que es importante conocer la distribución granulométrica de este material. Si se requiere obtener una mayor producción de material de grano grueso, es importante que el todo-uno tenga la mayor presencia posible de rocas de dimensiones grandes, siempre y cuando esta no supere la capacidad del equipo de trituración primaria (Konya, 1990).

La granulometría del todo-uno con que se alimentan las plantas de la cantera Carayaca, posee una distribución de tamaños comprendidos entre la malla #100 y el tamiz de abertura cuadrada igual a 29". En la tabla N° 8 correspondiente al análisis

granulométrico por tamizado del todo uno, se muestran los porcentajes de partículas retenidas en los tamices que fueron utilizados.

Tabla N° 8. Valores Promedio del análisis granulométrico por tamizado.

TAMIZ		PESO RETENIDO (Kg)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% Q PASA
N°	ABERT (mm)				
29"	750,00	200,60	10,03	10,03	89,97
24"	620,00	436,00	21,80	31,83	68,17
8"	232,00	334,00	16,70	48,53	51,47
5"	135,00	170,60	8,53	57,06	42,94
3"	76,20	0,00	0,00	57,06	42,94
2 ½"	63,50	65,93	3,30	60,36	39,64
2"	50,80	0,00	0,00	60,36	39,64
1 ½"	38,10	63,24	3,16	63,52	36,48
1"	25,40	79,29	3,96	67,48	32,52
¾"	19,10	87,14	4,36	71,84	28,16
½"	12,70	97,34	4,87	76,71	23,29
3/8"	9,52	50,85	2,54	79,25	20,75
¼"	6,35	157,59	7,88	87,13	12,87
N° 4	4,76	33,52	1,68	88,80	11,20
N°10	2,00	60,05	3,00	91,81	8,19
N° 20	0,84	20,18	1,01	92,82	7,18
N° 30	0,59	9,21	0,46	93,28	6,72
N° 40	0,42	9,85	0,49	93,77	6,23
N° 60	0,25	22,24	1,11	94,88	5,12
N° 100	0,14	36,06	1,80	96,68	3,32
P° 100	0,07	66,24	3,31	100,00	0,00
TOTAL		2000 Kg	100,00 %		

Fuente: VARCAM C.A. (2015)

CAPÍTULO III

GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

En esta sección se muestra el marco geológico regional y lo cal al cual está sujeta el área de estudio, donde se señalan las litologías tipo, las estructuras y las características físicas de la roca que se encuentra en Frente 2.

3.1 Geología regional

Las características geológicas de la Zona de estudio pertenecen al complejo La Costa, específicamente a la fase Tacagua y la fase Antímano. El léxico estratigráfico de Venezuela los describe de la siguiente manera:

- **Complejo La Costa (Mesozoico)**

Según (Ostos, 1987), p.71. “Está constituida principalmente por esquistos de mucha variedad mineralógica, mármol, anfibolitas, eclogita, rocas meta volcánicas, entre otros tipos de rocas que se encuentran en las fases Tacagua, y Nirgua. Este complejo aparece como una franja desde Nirgua estado Yaracuy, hasta Cabo Codera, estado Miranda. La mayoría de los contactos se le interpretan como tectónicos y en otros como fallas de corrimientos”.

Las rocas que componen este complejo representan una gran variedad de ambientes geológicos, esto como consecuencia de la tectónica, en este caso colisión entre las placas del Caribe y la de Sur América.

- **Fase Tacagua (Jurásico – Cretácico)**

Según Dengo (1951), p .91. “La localidad tipo de esta fase es en la quebrada Tacagua, al norte de la intersección con la quebrada Topo, Distrito Federal, donde se encuentran una asociación de esquistos albítico - calcítico – cuarzo – micáceo – grafitoso, intercalados con esquistos verde claro, también se le ha descrito que contiene cantidades menores de hematitas, calcita, piritita y granate”. Dengo (1951), menciona que el espesor varia de unos 150 a 200 (m); también hace énfasis en que la localidad tipo entra en contacto con la formación Las Mercedes”, mientras que Urbani (1989), indica un contacto con los esquistos de san Julián y con la fase

Antímano y Nirgua. Los afloramientos se extienden paralelamente al valle de la quebrada Tacagua. Se considera correlacionable con la formación de Paracotos, y con la formación de Copey, en la península de Araya - Paria, esta última por las rocas verdes de Tacagua.

- **Fase Antímano (Cretácico)**

Según Dengo (1951), p .63 y 64. “Los afloramientos de esta formación hoy en día están totalmente cubiertos por la urbanización de la ciudad de Caracas, pero todavía se pueden observar algunos en las canteras de la quebrada Mamera, se describe dicha formación como un mármol masivo de grano medio de color gris, constituido de un 85 - 95 % de calcita, y alternado con capas de esquistos cuarzo micáceo”. También describe las anfibolitas glaucofanicas, e indica que los mármoles son rocas estructurales competentes en relación a los esquistos cuarzo-micáceos que lo rodean, e incompetente a las rocas anfibolas, formando así la estructura geológica “boudinaje”, no obstante, Urbani (1989), nombra a la Zona de Puerto Cruz-Mamo, como parte de la fase Antímano, ya que allí también se encuentran anfibolita, mármol, esquistos calcáreos-moscovíticos-grafitosos.

El espesor según Dengo (1951), disminuye del este al oeste, donde en la localidad tipo tiene unos 40 m de espesor, presentando contactos con las formaciones las Brisas y Las Mercedes. A través de un estudio químico Navarro (1988), interpreta que las anfibolitas provienen de basaltos metamórficos, que fueron formados en el ambiente de la cordillera de la costa.

3.2 Geología loca

La geología del área (frente N° 2 y frente N° 4) pertenece parcialmente a la formación Tacagua pero la presencia de rocas calizas metamórficas o mármoles grises en masas lenticulares asociados a rocas anfibolíticas, dan a interpretar que pertenecen en su mayoría a la Formación Antimano. Teniendo en cuenta la formaciones de “boudinaje” en el frente N°4 (VARCAM, C.A, 2015).

En el frente N° 4, la secuencia litológica es concordante y transicional la cual consiste de rocas metamórficas, conformadas de base a tope: esquistos grafitosos-granatíferos, esquistos cuarzos- calcáreos-grafitosos, mármol gris oscuros laminado con intercalaciones delgadas de esquistos grafitosos, mármol gris oscuro compacto, anfibolitas muy compacta con estructura de “boudinaje” y al final en el tope un esquistos cuarcítico con niveles delgados de esquistos anfibolíticos y de mármol intercalados. El rumbo promedio E-W y buzamiento de 45°, la altura del talud es de unos 50m. En la Figura N° 8 y N° 9, se muestran las litologías antes descritas (VARCAM, C.A, 2015).



Figura N° 8. A) Esquistos grafitosos - granatíferos, Cuarzo calcáreos. B) Mármol compacto en parte sur del frente 4 (base de la frecuencia litoestratigráfica expuesta). Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A (2015)



Figura N° 9. A) Cuerpo de Anfibolita rodeado de rocas calcáreas formando la típica estructura “boudinage”. Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A (2015)

El frente N° 2 la secuencia es muy parecida a la del frente N° 4; concordante y transicional. Empezando de base a tope con esquistos granatíferos - grafitosos, intercalaciones de esquistos - cuarcítico - grafitoso - anfibolíticos, esquistos cuarcítico calcáreos - grafitosos, mármol gris oscuro compacto y bandeado, cuarcita bandeada con niveles delgados intercalados de esquistos grafitosos. El rumbo general N-W y buzamiento varia de 35° a 65° N (VARCAM, C.A, 2015). El mármol aflora en forma masiva y compacta con algunas vetas de cuarcita tal y como se observa en la Figura N° 10.

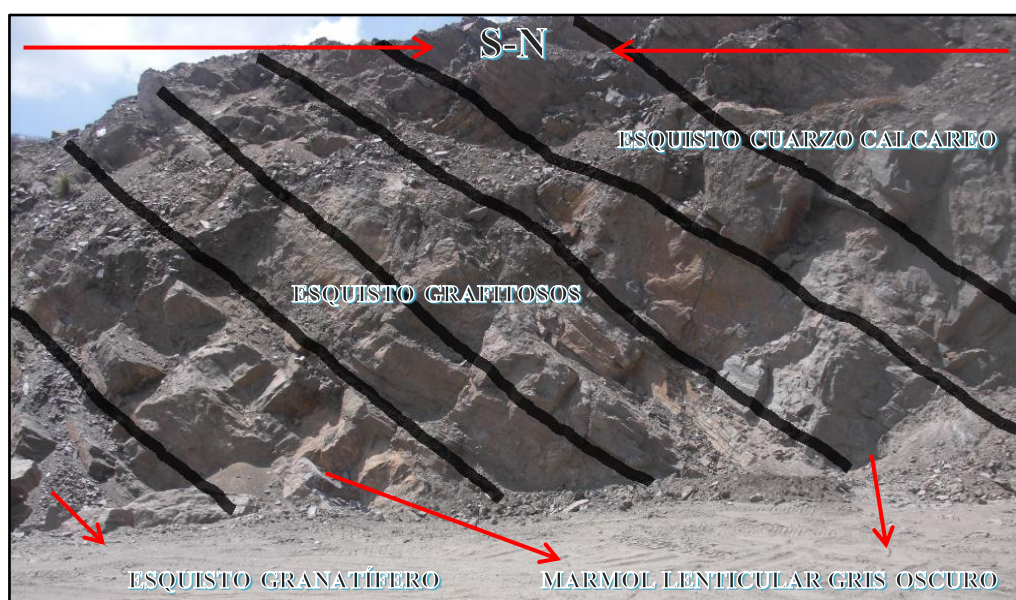


Figura N° 10. Secuencia litológica del frente 2. Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A (2015)



Figura N° 11. A) Esquistos granatíferos - grafitosos. B) Mármol gris masivo y Cuarcitas bandeadas Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A (2015)

La cantera para conocer las características físicas de la roca, realizó ensayos sobre muestras de roca bruta tomadas de las Zonas A y B que comprenden el Frente 02 (ver Figura Figura N° 11), en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela (UCV) en el año 2009, los cuales consistieron en:

- Peso específico: ASTM-127 equivalente COVENIN 269
- Abrasividad (Escala de Mohs)
- Absorción

En la tabla Tabla N° 9 se muestran los resultados obtenidos tras la realización de los ensayos antes mencionados.

Tabla N° 9. Características generales de la roca

Abrasividad (escala de Mohs)	4<D<5
Densidad promedio	2,74 T/m3
Adsorción promedio	0,49 %

Fuente: VARCAM C.A (2015)

3.3 Definición estructural del yacimiento

Estructuralmente, el yacimiento se encuentra muy afectado por el fuerte tectonismo regional que ha caracterizado a la región norte de Venezuela durante su evolución geológica para conformar la cordillera de la costa como parte de las distintas “fajas tectónicas” de un total de ocho que conforman el macizo central de la cordillera del Caribe en su parte septentrional.

Como consecuencia de este intenso tectonismo de yuxtaposición de fajas tectónicas y el desplazamiento en dirección este de la placa del Caribe, con respecto a la placa de la América del sur, el área de estudio está afectada por grandes fallas geológicas siendo la más importante la falla de Tacagua, la cual es una falla Destral-Normal, de dirección NO - SE, lo cual se evidencia en las pequeñas fallas de arrastre medidas en los frentes de explotación de la cantera debido a su proximidad a esta gran falla geológica de Tacagua.

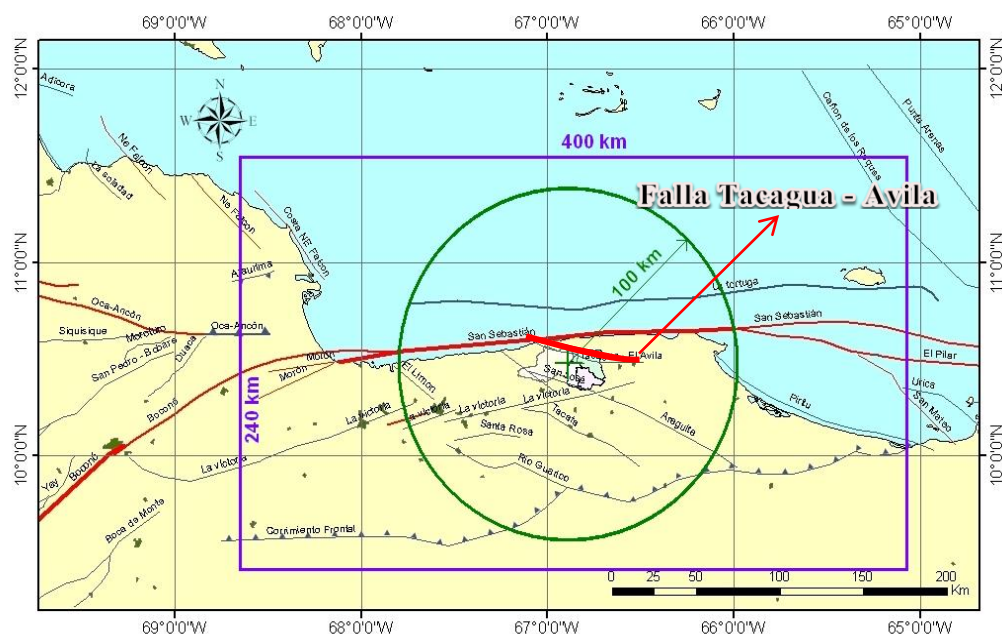


Figura N° 12. Ubicación de la falla de Tacagua. Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

En el frente 2, las familias de diaclasas son abundantes debido a los intensos efectos tectónicos que ha sufrido la región y a su vez debido a las características físicas de las rocas, que son muy frágiles dada su composición mineralógica eminentemente cuarzosas y/o calcáreas, propensas a quebrarse o romperse en fragmentos grandes o bloques en vez de plegarse (el mármol), como sería el caso de los esquistos grafitosos de la secuencia expuesta.

Las diaclasas conforman sistemas paralelos en diferentes direcciones e inclinaciones, las más recientes son generalmente cerradas, y de forma ocasional se presentan abiertas con un relleno integrado principalmente por cuarcita. La tendencia general de dirección e inclinación de las diaclasas conjugadas presentes en el frente 2, son las mostradas en la tabla N° 10 (VARCAM, C.A, 2015).

Tabla N° 10. Sistema de diaclasas y plano de foliación

Sistema	Orientación	
	Rumbo	Buzamiento
D1	N41W,	76S
D2	N31E	46S
D3	N27W	85S
F1	N82W	40N

Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

En la y la Figura N° 13 y 14 se observan las familias de diaclasas paralelas presentes en frente 2

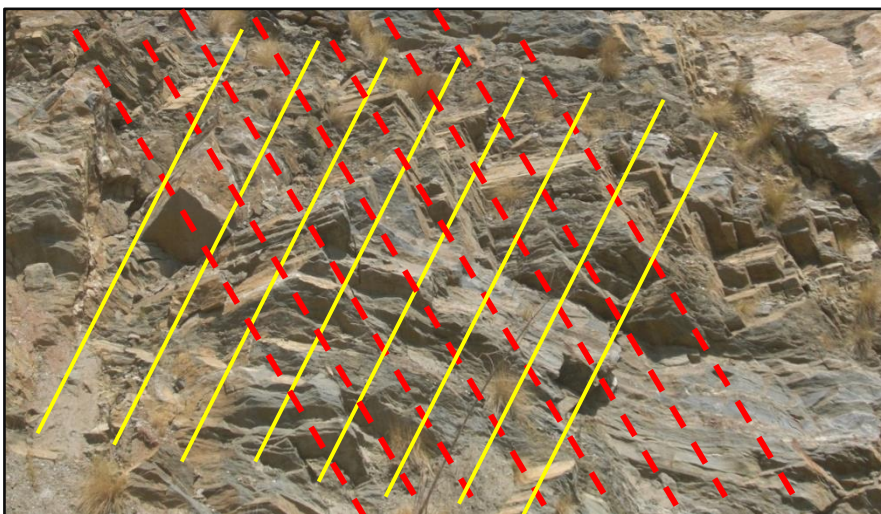


Figura N° 13. Sistema de diaclasas en el Frente 2. Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)



Figura N°14. Detalles de las diaclasas paralelas. Fuente: Informe Cantera Carayaca VARCAM C.A. (2015)

CAPÍTULO IV

MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se presenta el conjunto de ideas, conceptos, antecedentes y teorías que sustentan la investigación y permiten comprender la perspectiva o enfoque principal de la misma.

4.1 Aspectos a considerar en la clasificación de un macizo

Según Castillejo (1993), un macizo rocoso es un medio heterogéneo y discontinuo cuyas propiedades resistentes y deformacionales no pueden ser medidas directamente en laboratorio, existiendo una diferencia muy apreciable entre los valores que se obtienen en los ensayos de laboratorio y los que se obtienen mediante medidas *in situ*.

De acuerdo con González De Vallejo (2002), el macizo rocoso puede estar constituido por diferentes tipos de rocas, confiriéndole características homogéneas o heterogéneas, por otro lado el mismo posee distintos niveles de escala donde el conjunto completo que engloba la roca intacta y la roca fracturada es lo que conocemos como macizo rocoso, aquella sección que incluye la roca con ciertas discontinuidades o fracturas se conoce como roca fracturada y aquella área donde la roca posee características de conservación se conoce como roca intacta”. En la Figura N° 15 se puede observar la transición entre las diferentes situaciones descritas.

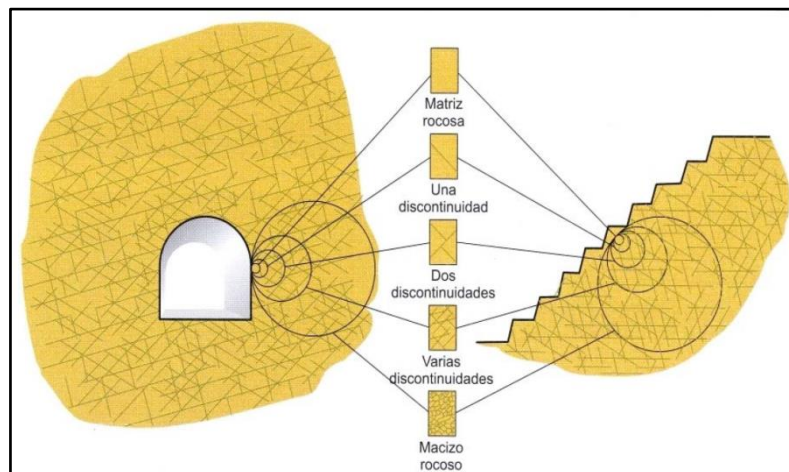


Figura N° 15. Efecto escala en un macizo rocoso. Fuente: Gonzalez de vallejo (2002)

El macizo rocoso está determinado por cuerpos de roca sana y la estructura geológica (primaria y secundaria). La interacción entre estos elementos constituyentes, dictara el comportamiento y las propiedades del macizo rocoso. El peso de estos factores depende de la escala de la obra a realizar. Las rocas ígneas son resistentes debido al enlace entre los cristales y minerales componentes de las mismas.

En un macizo rocoso de acuerdo a su estructura geológica se presentan dos tipos de estructuras denominadas estructura primaria y secundaria. La estructura primaria está dada por la génesis de las rocas. Las estructuras secundarias en cambio son el producto de la acción de esfuerzos desarrollados en la masa rocosa debidas a los esfuerzos tectónicos. Estas estructuras se pueden presentar aisladas o sobrepuestas entre sí. Las estructuras secundarias se manifiestan localmente en discontinuidades (ver FiguraN°16) y regionalmente como fallas, pliegues, que constituyen planos de debilitamiento en el macizo rocoso.

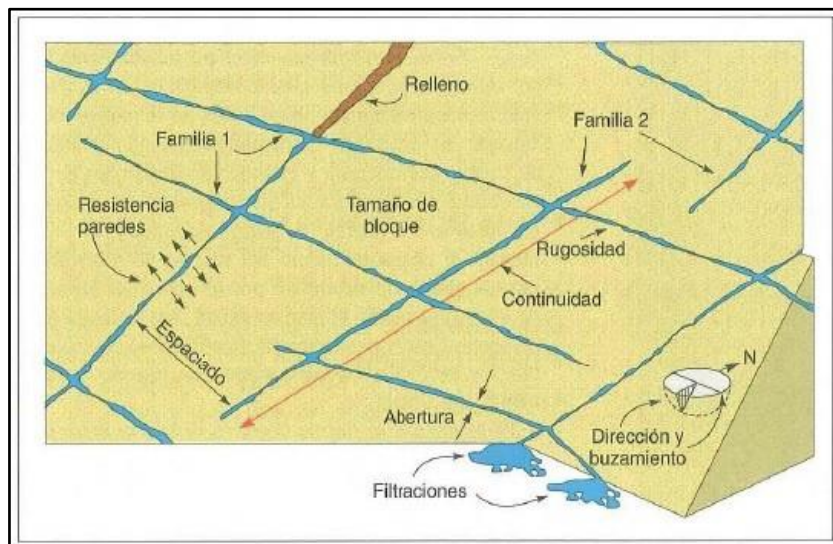


Figura N° 16. Estructuras secundarias. Fuente: Gonzalez De Vallejo (2002)

4.1.1 Estado de conservación de la roca

Abril (2010), afirma que la meteorización en los macizos rocosos consiste en el cambio, de su composición o textura (ver tabla N° 11), que afectan a las rocas expuestas en la superficie o cerca de esta, debido a la actividad de agentes

atmosféricos. Determinar el grado de meteorización en el macizo rocoso, es de suma importancia en la caracterización geomecánica del mismo, debido a que afecta negativamente a sus propiedades físico - mecánicas. Los índices más usados para determinar el grado de meteorización son: químico, micro petroGráfico y físico, siendo el último el más empleado en la práctica debido a lo económico que resulta y la fiabilidad de los resultados si son realizados correctamente. La meteorización química y física, son las formas de meteorización que afectan al macizo y la roca que lo compone.

El factor de mayor influencia en el tipo de meteorización es el clima. Los macizos rocosos subterráneos, son afectados cuando son excavados debido a actividades mineras y construcciones en el ámbito civil, no obstante, los macizos rocosos en la superficie que son afectados inmediatamente por agentes atmosféricos. El estudio del efecto de la meteorización con el tiempo debe ser tomado en cuenta tanto en macizos rocosos subterráneos o de superficies, ya que puede ocasionar la pérdida de estabilidad con el pasar del tiempo.

Tabla N° 11. Clasificación de Rocas Meteorizadas

Grado	Descripción	Litología	Fundaciones
I	Roca fresca	Roca limpia	Buena para cualquier estructura
II	Ligeramente meteorizada	Roca fracturada, feldespatos parcialmente alterados	Buena excepto para grandes presas
III	Moderadamente meteorizada	Parcialmente transformada a suelo, predomina roca sobre suelo	Buena para la mayoría de estructuras
IV	Intensamente meteorizada	Parcialmente transformada a suelo, predomina suelo sobre roca	Variable y poco confiable
V	Completamente meteorizada	Suelo, aún se reconoce estructura original	Necesita análisis de suelo
VI	Suelo residual	Algún contenido orgánico, todos los minerales están descompuestos, excepto el	Inadecuado sin análisis de suelo

Fuente: Abril (2010)

4.1.2 Métodos de caracterización de macizo rocoso

Según Blanco (2013), para valorar la calidad del macizo rocoso, se emplea diferentes métodos de estudio, actualmente los métodos basados en las clasificaciones geomecánicas, son los que han tenido gran difusión. Los criterios utilizados están basados en parámetros cualitativos y cuantitativos, dando como resultado diferentes métodos de evaluación y valoración, como se muestra en la tabla N° 12.

Tabla N° 12. Métodos de clasificación de macizos rocosos

Métodos cualitativos	Terzaghi (1946)
	Lauffer (1958)
	Deere “RQD” (1963)
Métodos cuantitativos	Wickham et al. “S.R.S” (1972)
	Bieniawski “RMR” (1973, 1989)
	Barton et al. “Q” (1974)
	González de Vallejo “S. R. C.” (1982)

Fuente: Vladimir (2013)

- **Clasificación RMR o rango de valoración de la roca**

El índice RMR fue desarrollado por Bieniawski en 1973, constituye un sistema de clasificación para determinar la calidad y resistencia de macizos rocosos. Para aplicar la clasificación se divide al macizo rocoso en Zonas de estructura geológica similar. Esta clasificación se basa en los siguientes parámetros geomecánicos (Gonzalez De Vallejo, 2002):

- Resistencia a compresión uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación de la roca “RQD”.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la obra.

Con la suma de los cinco primeros parámetros, se obtiene el valor del RMR básico. La corrección por orientación de discontinuidades, depende del tipo de obra

ingenieril (túneles y taludes), una vez sumado este parámetro se obtiene el RMR 89 (varía de 0 a 100) con el que se le asigna la calidad macizo rocoso (a mayor RMR, mayor calidad del macizo rocoso). El RMR está dividido en cinco tipos de calidad con su respectivo rango de características geotécnicas. Las tablas estandarizadas tomadas de Gonzalez de vallejo (2002), se muestran en el Anexo A.

Según Bongiorno (2012), la calidad de roca o *R.Q.D* por sus siglas en inglés *Rock Quality Designation*, se puede determinar a partir de:

- Trozos de rocas testigos mayores de 10 cm recuperados en sondeos
- Parámetro J_v , que representa el número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (1 m^3) del macizo rocoso.
- Teóricamente a partir de la densidad de las discontinuidades o frecuencia de las discontinuidades, por Hudson (1989).

Para el caso de estudio el cálculo del *RQD* se hará en función del número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen del macizo rocoso a través de la siguiente ecuación 1:

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v \quad (1)$$

Ante la dificultad de observar tridimensionalmente un afloramiento, el valor de J_v se suele determinar contando las discontinuidades de cada familia que interceptan una longitud determinada, midiendo perpendicularmente a la dirección de cada una de las familias (o en su defecto realizando la corrección necesaria con respecto a la dirección aparente de medida) que se expresa en la ecuación 2:

$$J_v = \sum \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{longitud de medida}} \quad (2)$$

Por ejemplo, para un macizo con tres familias de discontinuidades (J_1 , J_2 y J_3) se tiene la siguiente ecuación:

$$Jv = \left(n^o \frac{J1}{L1} \right) + \left(n^o \frac{J2}{L2} \right) + \left(n^o \frac{J3}{L3} \right) \quad (3)$$

La longitud a medir dependerá del espaciado de cada familia, variando normalmente entre 5 y 10 metros.

Para estimar los parámetros de resistencia del macizo rocoso se hizo uso del criterio de rotura de Hoek Brown, el cual permite determinar el comportamiento mecánico del macizo a través de la resistencia media de sus materiales constituyentes.

4.1.3 Criterio de Hoek-Brown

El propuesto por Hoek y Brown (1980), es un criterio empírico de rotura no lineal valido para evaluar la resistencia de la matriz rocosa isótropa en condiciones triaxiales a través de una ecuación no lineal como se observa en la Figura N° 18, mediante la ecuación 4:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i * \sigma_{ci} * \sigma_3 + \sigma_{ci}^2} \quad (4)$$

Donde σ_1 y σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor de rotura, σ_{ci} es la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa y m_i es una constante que depende de las propiedades de la matriz rocosa.

El valor de σ_{ci} puede ser estimado en ensayos de laboratorio, mientras que el parámetro m_i puede obtenerse de la bibliografía cuando no se posible obtenerlo a partir de los ensayos traxiales en la roca.

El criterio expresado adimensionalmente, en términos de esfuerzos normalizados con respecto a σ_{ci} tiene la forma de la ecuación 5:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{ci}} = \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + \sqrt{m_i * \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + 1} \quad (5)$$

La resistencia a la compresión simple viene dada por la expresión anterior sustituyendo $\sigma_3 = 0$, y la resistencia a tracción se obtiene resolviendo para $\sigma_1 = 0$ y $\sigma_3 = \sigma_1$ en la ecuación 6:

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} * \sigma_{ci} \left(m_i - (m_i^2 + 4) \right) \quad (6)$$

En la Figura N° 18 se muestra la envolvente de falla construida a partir de ensayos de compresión simple, triaxiales y tracción directa.

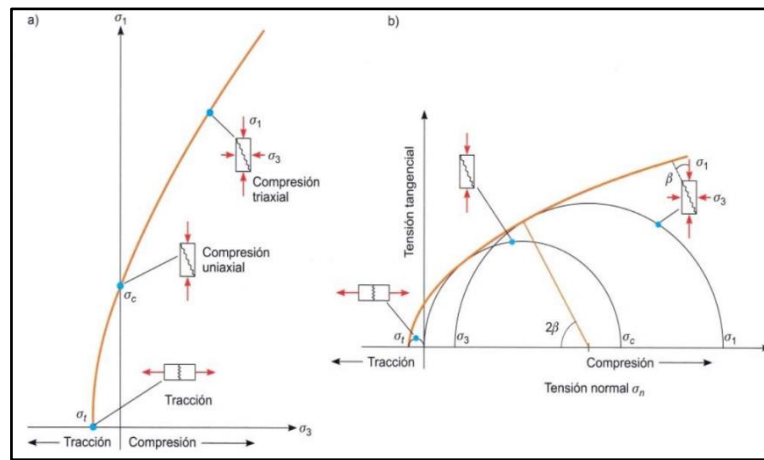


Figura N° 18. Envolventes de rotura del criterio de Hoek y Brown. Fuente: Gonzalez de vallejo (2002)

La envolvente de Hoek y Brown representa el comportamiento elástico de las rocas, cualquier cambio de esfuerzos normales y tangenciales que se encuentre debajo de la superficie de falla, están en un estado elástico y si se encuentran sobre esta se producirá la rotura, no pueden darse combinaciones por encima de la superficie de falla ya que la roca habría alcanzado la rotura.

La mayor parte de los programas de cálculo utilizan internamente el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, definido por la cohesión y la fricción del material rocoso. Por ello se han desarrollado las expresiones que permiten definir los parámetros de resistencia al corte a partir de los parámetros que definen las características de resistencia del macizo rocoso (" m " y del " s "), los cuales dependen del índice geológico de resistencia (GSI) por sus siglas en ingles *Geological Strength Index*, a

través del cual se puede estimar la resistencia media global del conjunto constituido por los materiales rocosos isótropos y discontinuos (Perri, 1998).

En el trabajo especial de grado de Cipriano (2013), titulado: “Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la cantera de materiales de construcción las Victorias, Ecuador”. Logro obtener la calidad de dicho macizo a través del índice de calidad RMR de Bieniawski, efectuando la descripción de cada uno de los parámetros que intervienen en la determinación de dicho índice. A través de este parámetro y los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción y de compresión, Cipriano logro estimar el comportamiento geomecánico del macizo, mediante el criterio de rotura de Mohr - Coulomb, el cual le arrojó parámetros de calidad que no son lo suficientemente representativos de la realidad, debido a la isotropía del macizo de la cantera Las Victorias. Sin embargo, la calidad obtenida en función del índice RMR le permitió establecer conclusiones respecto al uso de estos resultados para fines geotécnicos.

4.2 Fragmentación

A continuación se definirán las teorías que hacen referencia a las teorías de mecánica de fractura.

4.2.1 Voladura

La voladura es la primera etapa de fragmentación a la que es sometida la roca en la cantera Carayaca. Konya (1990), establece que para obtener los resultados deseados en el diseño de un patrón de voladura el mismo debe revisarse detenidamente atendiendo detalladamente los siguientes factores:

- Tipo de roca y condiciones geológicas
- Propiedades físico mecánicas de la roca
- Volumen de roca a ser volada
- Tipo de explosivo y propiedades
- Sistema de iniciación
- Parámetros dimensionales de la voladura

La geología del material a fragmentar, es el factor más importante para determinar el diseño del patrón de voladura, sin embargo los demás factores poseen su nivel de importancia a la hora de mejorar dicho patrón. Para determinar estos factores, generalmente es necesario, llevar a cabo numerosas pruebas de campo y de laboratorio. En la mayoría de los casos los resultados obtenidos se basan en la suposición de que el material a fragmentar es homogéneo. Los resultados de estas pruebas pueden ser usados como una guía para ayudar a determinar el espaciamiento y el borde de los barrenos, y para mejorar el grado de fragmentación deseado.

En muchos casos una roca muy dura y quebradiza, volara con menos dificultad que una roca suave y esponjosa, por lo que la calidad del macizo, es un factor muy importante en el diseño del patrón de voladura. Si estamos en presencia de una roca con planos de foliación delgados y horizontales; la roca generalmente puede quebrarse y ser fragmentada adecuadamente con retiros y espaciamientos relativamente largos y un consumo bajo de explosivos. Si la formación es masiva, con solo unas cuantas laminaciones requerirá de retiros y espaciamientos cercanos y un consumo alto de explosivos.

Existen dos tipos de esfuerzos en las rocas, generados por las fuerzas de fragmentación del explosivo, los cuales deben ser tomados en cuenta a la hora de determinar la cantidad de explosivo por barreno. El primero es el esfuerzo de tensión del macizo rocoso y el segundo es el esfuerzo de tensión de la matriz rocosa. El esfuerzo de tensión de la matriz rocosa es el esfuerzo que podemos medir efectuando ensayos geomecánicos sobre muestras roca con discontinuidades o intactas. Muchas veces se utilizan los resultados de los ensayos en los que se utilizaron muestras intactas para determinar la resistencia del macizo rocoso. Haciendo esto se está midiendo únicamente el esfuerzo por matriz rocosa y no el esfuerzo del macizo rocoso, el cual puede ser mucho menor (Konya, 1990).

4.2.2 Mecánica de fractura

Según Donovan (2003), la resistencia a la compresión se usa típicamente para clasificar la dureza de un material como las rocas. A veces se usa para determinar la

homogeneidad de un material y en la selección del tipo de trituradora utilizada (trituradoras de mandíbula o giratorias).

Las pruebas de resistencia a la compresión siguen el procedimiento habitual establecido por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens*, 2002). En estas pruebas el espécimen cilíndrico debe tener una relación de longitud / diámetro de al menos 2. En la Figura N° 19 se muestra un espécimen de roca cilíndrico cargado axialmente. La carga máxima requerida para provocar la falla, se utiliza para determinar la resistencia a la compresión (RCS) de la muestra de roca.

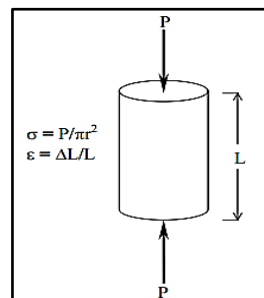


Figura N° 19. Esquema de un ensayo de compresión simple
Fuente: Donovan (2003)

Una serie de pruebas se realizan con el fin de obtener un valor promedio de RCS representativo, el cual es utilizado para clasificar el material. En este caso los fabricantes de trituradoras tienden a utilizar el valor máximo RCS para clasificar el material. En la Tabla N°13, Donovan (2003), establece las clasificaciones basadas en los valores de resistencia a la compresión.

Tabla N° 13. Categoría de dureza del material a base de resistencia a la compresión

Fuerza compresiva	Categoría
Menos de 69 MPa	El material es suave. Puede ser procesado por todo el equipo en el bajo consumo de energía. El equipo estará limitado volumen
69 a 138 MPa	El material posee una dureza media. Por lo general pueden ser procesados por todos los equipos. Se puede consumir toda la potencia de los equipos
138-276 MPa	El material es duro. Requerir equipos pesados y el consumo de energía total.

Más de 276 MPa	El material es extremadamente duro
-----------------------	------------------------------------

Fuente: Donovan (2003)

4.2.3 Trituración individual de partículas

Las bases teóricas para la mecánica de fractura se iniciaron en 1921, cuando Griffith relaciono la propagación de fracturas preexistentes con las grietas o defectos que poseen las rocas. Más tarde, en 1957, Irwin introdujo el concepto de intensidad de esfuerzos, para evaluar la propagación de fracturas. Él sugirió que una fractura se propaga cuando el factor de intensidad de esfuerzo se aproxima a un valor crítico que es característico para cada material. La intensidad de esfuerzo varía con el modo de fractura; hay tres modos principales: modo I (apertura) se debe al esfuerzo de tensión normal, modo II (propagación) y modo III (desgarro) el cual se debe al esfuerzo cortante que actúa sobre la partícula. En la mayoría de los casos, las condiciones de carga producen propagación de la fractura de modo mixto (Mc Dowell, 1999).

Superficies de fractura en modo mixto, se superponen entre si presentando múltiples fracturas transversales que parecen pétalos de flores, inclinadas con respecto a la superficie plana y producidas por el modo de fractura que predomine al momento de aplicación de los esfuerzos, experimentos llevados a cabo por Irwin en colaboración con L. Germanovich (1957), sobre diferentes tipos de rocas confirman lo antes citado (ver Figura N° 20).

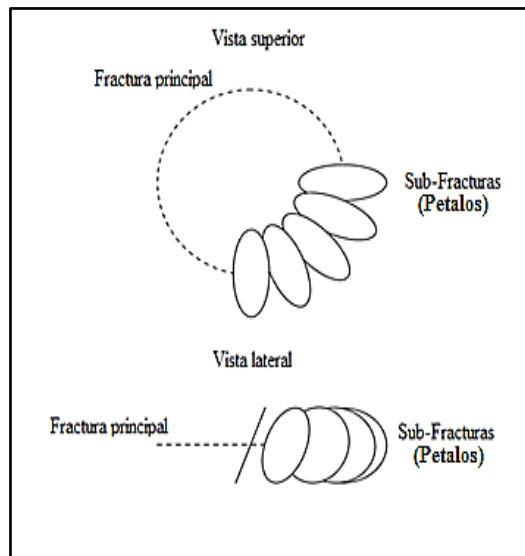


Figura N° 20. Las superficies de fractura en modo mixto exhiben pétalo transversal múltiple como fracturas inclinadas con respecto al plano de la modalidad principal de la fractura
Fuente: Mc Dowell (1999).

Según Mc Dowell (1999) las observaciones anteriores sugieren que la propagación de la fractura está estrechamente relacionada con la estructura interna y propiedades mecánicas de los granos de la roca y minerales. Por ejemplo, rocas densas, de grano fino como la piedra caliza desarrollan fracturas en forma de aguja muy rectas que se propagan sin interactuar entre sí dando lugar a una falla explosiva (Gramberg, 1989). Sin embargo, el mármol, con la misma mineralogía de la roca caliza, pero con granos gruesos débilmente cementados, desarrolla múltiples fracturas macroscópicas que convergen en una falla principal de tipo cizalla. Además, la deformación plástica de los granos de calcita reduce la concentración de esfuerzos en la punta de la grieta, la grieta se expande lateralmente y la propagación se ve obstaculizada. En consecuencia, el tamaño y las propiedades mecánicas de la calcita generan dos mecanismos de falla muy diferentes en roca caliza y mármol. En el caso del granito, los granos de cuarzo y feldespato no se deforman plásticamente bajo esfuerzos de confinamiento, y la propagación de la grieta continua en la dirección de la carga aplicada (Gramberg, 1989). Por lo tanto, el granito y el mármol (rocas de grano grueso con grietas planares preexistentes) fallan de manera muy diferente. De manera que la fractura de las rocas o minerales dentro de los equipos de trituración se ven afectada por este comportamiento. Los equipos de trituración rompen rocas por la

propagación de la fractura inducida por la compresión aplicada y las fuerzas de corte (ver Figura N°21).

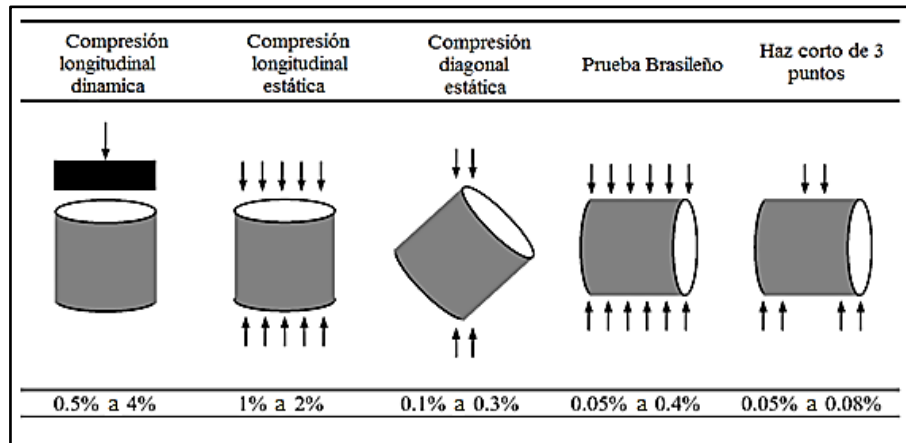


Figura N° 21. Los finos generados bajo diferentes mecanismos de carga. Las muestras preparadas con mezclas de yeso y arena. Fuente: Mc Dowell (1999)

4.2.4 Tamaño y forma de las partículas en la fragmentación

Según Krumbein (1963), el tamaño y la forma de las partículas determinan el comportamiento del flujo de estas dentro de los procesos industriales, no obstante, su comportamiento es diferente dentro de las características estructurales y de resistencia de los materiales de los que forman parte.

A su vez Krumbein (1963), afirma que la determinación de la forma de las partículas se puede realizar mediante la comparación de imágenes con las tarjetas de siluetas o a través de factores de forma que relacionan la longitud mayor (a), la intermedia (b) y el espesor (c).

El factor de forma que relaciona la elongación (b/a) y la delgadez (c/b), cuando es mayor a $2/3$ (valor adimensional), representa formas alargadas, y cuando es menor representa formas aplanadas. En minería y para procesos de isodromía (comportamiento de las partículas dentro de un fluido) se utiliza el factor que compara los granos con la esfera como referencia o patrón, y se define el concepto de redondez.

Como ejemplo en la Figura N° 22 se incluyen las tarjetas de las categorías de las formas de Zingg (1935), y la tarjeta de siluetas para identificar la forma de las partículas y determinar la esfericidad y redondez.

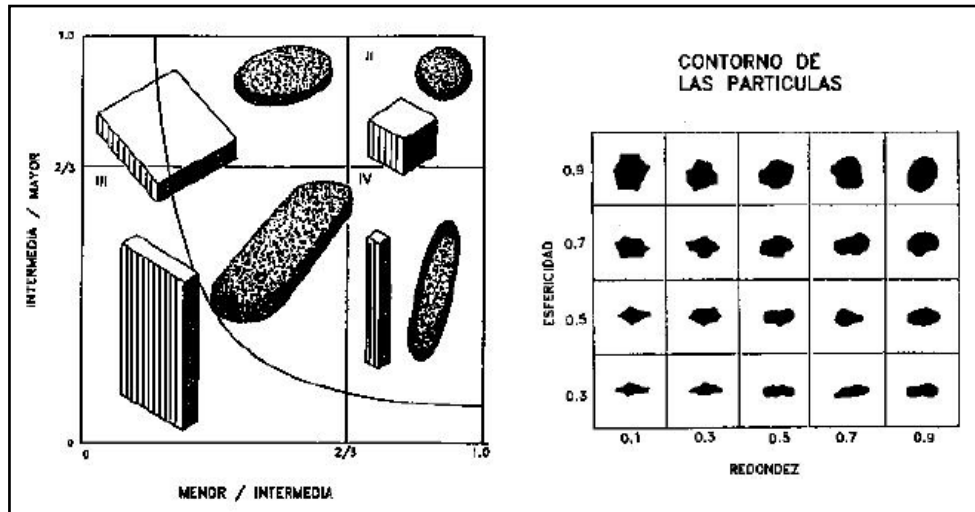


Figura N° 22. Categorías de las formas de Zingg. Fuente: Krumbein (1963).

Más tarde en 1982, Powers mejora las tablas de comparación visual de Zingg pero bajo los mismos criterios de factores de forma de las partículas.

Un estudio realizado por Erinova (2012), titulado: Proyecto de una planta de trituración para cantera de caliza, en la provincia de Lugo, España. Demostró que para el diseño de una planta de trituración es necesario tomar en consideración todos los factores intrínsecos y extrínsecos relacionados con la formación del yacimiento, ya que de ello dependerá las etapas de trituración a la cual deberá ser sometida la roca para poder obtener la granulometría y formas deseadas en el agregado. Para ello Erinova determino los parámetros de resistencia del material los cuales fueron utilizados para la selección de los equipos de fragmentación y clasificación que integraran el diseño final de la planta.

Otro estudio que relaciona la calidad del material a fragmentar con la granulometría obtenida en los equipos de fragmentación es el realizado por Guimarae (2007). En esta investigación se realizó el análisis de una serie de muestras de rocas tomadas de las 38 canteras que integran el estado de Georgia en Estados Unidos. Lográndose establecer conclusiones respecto a la producción de finos ligada a estas

rocas bajo distintas condiciones de carga (puntual, longitudinal, compresión y de cuatro puntos, mejor conocido como ensayo brasileiro).

CAPÍTULO V

MARCO METODOLÓGICO

5.1 Diseño y tipo de investigación

De acuerdo a la estrategia adoptada para responder al problema planteado, el presente trabajo se ubica como una investigación experimental, ya que las variables independientes ligadas a la granulometría y a la proporción mármol - esquisto del material de alimentación fueron manipuladas a conveniencia para estudiar como la calidad del todo uno influye en la granulometría de salida de los equipos de fragmentación.

De acuerdo al tipo de investigación, el trabajo desarrollado es descriptivo correlacional, debido a que se realizó el análisis sistemático del problema con el propósito de describir sus factores constituyentes y su ocurrencia, ello pudo observarse al relacionarse datos geológicos, geomecánicos y granulométricos de la roca.

5.2 Población y muestra

El estudio se realizó en las dos plantas que conforman la cantera Carayaca, ya que a pesar de que las plantas cumplen el mismo objetivo (fragmentar, clasificar por dimensiones y obtener los agregados comerciales), las mismas no disponen de los mismos equipos, por lo que no pudo ser tomada solo una de ellas como un elemento del universo para identificar los puntos críticos de generación de finos.

5.3 Instrumentos y técnicas

Entre los instrumentos y técnicas utilizados para llevar acabo todos los ensayos de manera efectiva se tienen los siguientes instrumentos y técnicas:

5.3.1 Instrumentos

Entre los instrumentos que se utilizaron para obtener los datos necesarios para la caracterización del macizo y para generar las curvas granulométricas se pueden nombrar los siguientes:

- Programa computacional “software libre” *Grapher 11®*.
- Programa computacional C.A.T.S. *Advanced*, licencia del Laboratorio de Mecánica de Rocas “Prof. Miguel Castillejo” de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
- Para el registro de observación en campo se hizo uso de los modelos de tabla para recopilar información en campo propuestas por Gonzales (2002) y Morocho (2010), además se realizaron anotaciones en la libreta de campo.
- Equipos GCTS (RDS 500), Laboratorio de Mecánica de Rocas “Prof. Miguel Castillejo” de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

Para los ensayos granulométricos y de desgaste se hizo uso de los siguientes instrumentos:

- Balanza electrónica SYSTEL de 40 Kg de capacidad ($\pm 0,05$ gr).
- Batería de tamices ASTM E - 11/95 (3”, 2^{1/2}”, 2”, 1^{1/2}”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, 1/4”, N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 80 y N° 100).

5.3.2 Técnicas

Entre las técnicas que se utilizaron para llevar a cabo la toma de muestras, los ensayos geomecánicos y granulométricos de manera efectiva se encuentran las siguientes normas:

- Normas técnicas para la toma de muestras de agregados.
 - NTC 129, para la toma de muestras de agregados.
 - NTE 695, para la toma de muestras en las cintas.
 - NTC 3674, para la reducción del tamaño de las muestras de agregados, tomadas en campo, para la realización de ensayos.
- Normas ASTM por sus siglas en inglés: *American Society for Testing Materials*.
 - C 136 - 01, Método estándar para análisis por tamizado
 - D-422, Análisis granulométrico por tamizado

- D7012-10, para el ensayo de Compresión Uniaxial.
- D7531-08, para el ensayo de Tracción Indirecta (Brasilero)
- Noma COVENIN
 - 266-1977, para el ensayo de Los Ángeles.

5.4 Procedimiento experimental

Etapas del desarrollo metodológico: En el siguiente esquema se presenta la metodología utilizada dividida en cuatro etapas, desde la recolección de muestras hasta el trabajo de oficina.

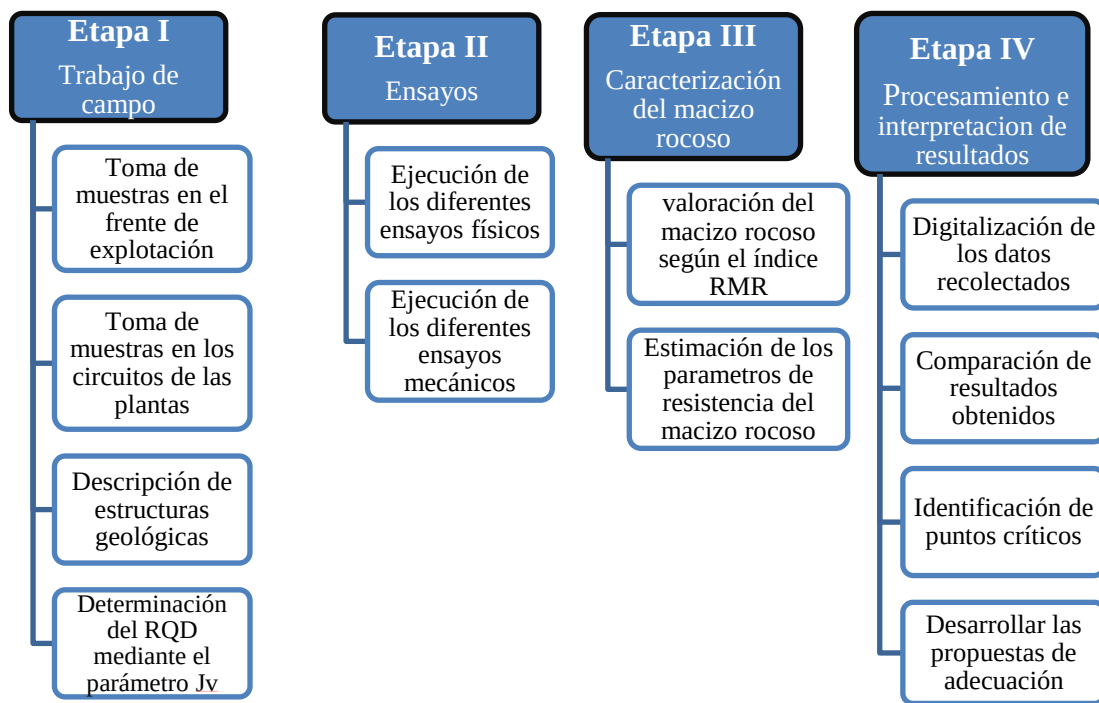


Figura N°23. Esquema metodológico

Etapa I: Trabajo de campo

Toma de muestras en el frente de explotación valoración

Para la toma de muestras en el frente de explotación, se realizaron varias visitas a la Zona de estudios, con el propósito de establecer la forma adecuada de obtener segmentos de rocas con las dimensiones necesarias para recuperar de ella núcleos de roca. Al no ser necesario estudiar el comportamiento de las discontinuidades, en

términos de resistencia y estabilidad, las muestras fueron tomadas del material producto de la voladura.

Toma de muestras en los circuitos de las plantas

Las muestras representativas dentro de los circuitos (Circuito 1: Planta 1, Circuito 2: Planta 2) fueron tomadas en la alimentación y en la salida de los equipos de disminución de tamaño. Cabe destacar que las muestras se disminuyeron al tamaño requerido para los ensayos de laboratorio según la técnica de cuarteo manual descrita en la norma técnica colombiana NTC 3674 (1995).

Dicha toma de muestra se efectuó en función de dos formas de alimentación de las plantas, para de esta forma poder evaluar la influencia que tiene la distribución granulométrica y la resistencia del material volado dentro de las operaciones de fragmentación, cabe destacar que por razones operativas planta dos solo pudo ser alimentada bajo la configuración de alimentación tipo 1.

1. **Alimentación tipo 1 (T1):** todo uno de alimentación tomado del frente de explotación, relación mármol – esquistos (50:50) %
2. **Alimentación tipo 2 (T2):** fragmentos de roca sin material fino, con un tamaño no mayor al tamaño máximo de admisión del triturador primario, relación mármol – esquistos (80:20) %

Descripción de estructuras geológicas

Una vez recolectadas e identificadas las muestras se procedió a realizar una descripción de estructuras geológicas, estudiándose el agrietamiento del macizo rocoso, que incluyó la descripción detallada de cada uno de los parámetros descritos por la clasificación de Bieniawski. Para esta actividad se tomó como guía la metodología propuesta por Gonzalez de vallejo (2002).

Determinación del RQD mediante el parámetro J_v

Debido a que la empresa no contó con los recursos necesarios para llevar a cabo perforaciones con recuperación de testigos, el RQD fue determinado a través del parámetro J_v de la siguiente manera:

Se contaron las discontinuidades de cada familia que interceptaban una longitud determinada, realizando las correcciones necesarias con respecto a la dirección de medida y el rumbo de las discontinuidades en el frente de explotación.

Etapa II: Ensayos

- **Ensayos físicos**

- a) Ensayos granulométricos**

Cada una de las muestras recolectadas en campo y dentro de las plantas se les efectuó un tamizado para determinar su distribución de tamaños o gradación de agregados; los resultados obtenidos fueron presentados de forma analítica y gráfica, señalando sus respectivos rangos de tamaños y fracciones porcentuales.

- b) Ensayo de resistencia a la abrasión (resistencia al desgaste)**

Para determinar el índice de resistencia a la abrasión de las partículas de agregado de cada tipo de roca, se llevó a cabo el ensayo de los Ángeles sobre dos muestras de gradación tipo A, de acuerdo a la metodología descrita en la norma COVENIN 266-1977 (Ver anexo A6), conformadas por fragmentos de roca previamente seleccionados en función del color azul característico de norma y los planos de esquistosidad del esquisto. Esta selección de partículas se realizó sobre una muestra representativa tomada a la salida del triturador primario de Planta 1, según la norma NTC-3674 (ICONTEC, Práctica para la reducción del tamaño de las Muestras de agregados, tomadas en campo, para la realización de ensayos, Norma técnica Colombiana).

Aunado a este ensayo se realizó un análisis morfológico de las partículas antes y después de la ejecución del ensayo de los Ángeles, para ello fueron medidas las dimensiones características de las partículas de cada muestra a través de un calibrador pie de rey ($\pm 0,05$ gr), con el fin de determinar cualitativamente el efecto de desgaste que sufren los vértices angulosos de las partículas.

- **Ensayos mecánicos**

Los valores de resistencia a la compresión y a la tracción de las muestras recolectadas en campo, se obtuvieron mediante la realización de ensayos de compresión simple y de tracción directa. Los núcleos de roca sobre los cuales se realizaron dichos ensayos fueron extraídos de las muestras tomadas en campo de acuerdo a las siguientes fases de preparación:

- Extracción y corte de las muestras en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Facultad de Ingeniería.
- Una vez realizado la extracción de los cilindros y la reducción de tamaño de los mismos, se rotularon las muestras, con el fin de llevar un control del número de ensayos a realizar, este rotulado comenzó a partir de la última muestra que haya entrado al Laboratorio de Mecánica de Rocas de la E.G.M.G de la Facultad de Ingeniería, U.C.V.
- Para garantizar la perpendicularidad de las caras y una superficie totalmente libre de rugosidades e irregularidades fue necesario pulir las muestras destinadas a ensayos de compresión simple con el fin de garantizar una distribución de esfuerzos regular.
- Una vez las muestras tuvieron sus caras totalmente pulidas y paralelas, se procedió a medir las dimensiones de los ejemplares generados.

Etapas III: Caracterización del Macizo Rocosó

Valoración del Macizo Rocosó según el índice RMR

En esta etapa se llevó a cabo la interpretación y procesamiento de los resultados obtenidos en la descripción de estructuras geológicas de la Etapa I y de los ensayos de compresión simple de la Etapa II, para poder determinar la calidad global del macizo a través del índice RMR de Bieniawski.

Para tal fin se asignó una puntuación a cada parámetro geomecánico (resistencia a compresión uniaxial de la matriz rocosa, grado de fracturación de la roca, espaciado de las discontinuidades, condiciones de las discontinuidades y condiciones

hidrogeológicas) a través de las tablas de clasificación de Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas ISRM (1981). La sumatoria de la puntuación correspondiente a cada parámetro permitió obtener el índice de calidad representativo $RMR_{Básico}$.

Estimación de los parámetros de resistencia del macizo rocoso

Para estimar los parámetros de resistencia del macizo rocoso, se utilizó el criterio de falla de Hoek - Brown, haciendo uso de los resultados de Resistencia a la compresión y a la tracción se construyó la envolvente de falla a través del software *Rock Data*, tomando en cuenta que el programa asigna valores a los parámetros, GSI y D que no son representativos de la realidad para el caso de estudio, se realizó el ajuste de la envolvente a partir de la modificación de estos parámetros.

Etapas IV: Trabajo de oficina

Digitalización de resultados

Para la digitalización de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se hizo uso de los formatos para reportes del Prof. Miguel Castillejo en donde se reflejan los parámetros más importantes obtenidos en cada ensayo, el estado inicial y final de las muestras, y su respectiva codificación según el libro de asientos del Laboratorio de Mecánica de Rocas.

Los puntos críticos de generación de finos y el balance de masa de cada planta fueron plasmados en los flujogramas con el fin de disponer de forma resumida y esquemática dicha información.

Comparación de resultados e identificación de puntos críticos

La comparación de resultados se realizó de la siguiente manera:

- A través de la curva granulométrica del material de alimentación de las plantas, se estableció el porcentaje de finos que se podría estar generando en la fragmentación por voladura, analizando a su vez la distribución granulométrica de la curva, para poder inferir como la calidad del macizo influye en este comportamiento.

- Se compararon las curvas de distribución granulométrica obtenidas a partir de las muestras tomadas antes y después de las operaciones de reducción de tamaño, estableciendo así el porcentaje de partículas finas menores a 7,1 mm que se están generando en los equipos de fragmentación.
- El porcentaje de finos totales producido por las operaciones de fragmentación dentro de las plantas se comparó con el porcentaje de finos obtenidos en la distribución granulométrica del material proveniente de la voladura (todo uno de alimentación).
- Se contrastaron los finos generados por muestras de agregados de cada tipo de roca en el ensayo de los ángeles, con el fin de establecer hipótesis respecto a la simetría y desgaste que podría presentar el flujo de agregado ante las operaciones de cribado.

Las comparaciones antes mencionadas nos permitieron obtener los puntos críticos en donde se está generando la mayor producción de agregado fino dentro y fuera de las plantas, y a su vez, de forma práctica poder justificar el comportamiento que está presentando el material.

Para el desarrollo de las propuestas de adecuación de cada planta se tomó en consideración los resultados obtenidos tras la manipulación de las variables de tamaño y proporción del material de alimentación y de cada una de las comparaciones antes mencionadas.

CAPITULO VI

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.1 Características mecánico estructurales del macizo rocoso

A continuación se mostraran los resultados referentes a la clasificación del macizo desde su descripción hasta su valoración.

a) Descripción del afloramiento

El afloramiento “Frente 2” de la cantera Carayaca, se encuentra emplazado en una de las montañas que conforman el área de concesión de la empresa. El frente está constituido por dos bancos, el primero posee una altura de 27 m y el segundo una de 15 m, siendo este último el más reciente, ambos disponen de un ángulo de cara libre de 60° .

El área del afloramiento seleccionada para el estudio dispone de una extensión lateral de 100 m, y una altura promedio de 42 m. En esta Zona se exhibe una secuencia concordante de capas de mármol y esquisto, las cuales varían de 3 a 1,70 m de espesor.

En la Figura N° 25 se puede observar lo antes descrito.

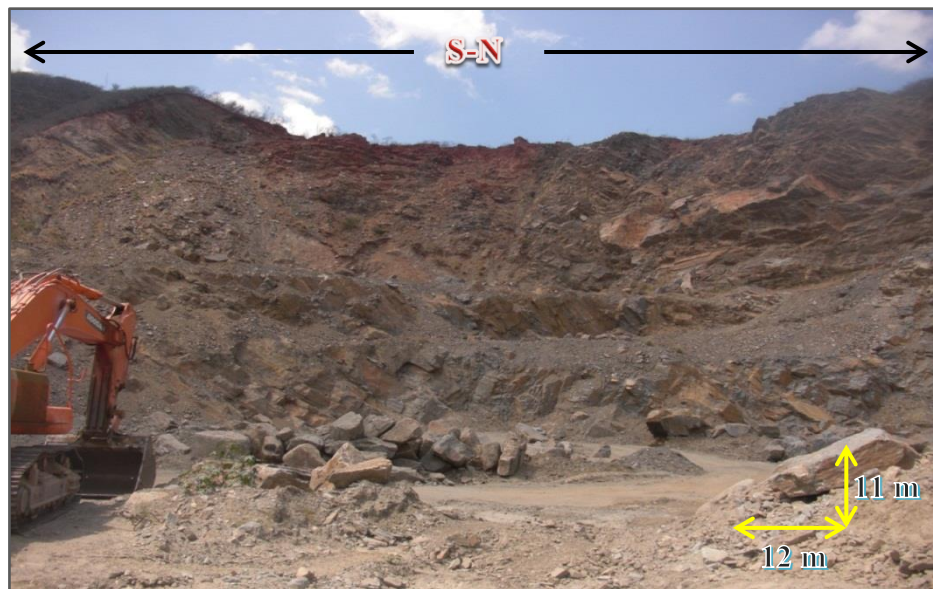


Figura N°25. Afloramiento frente dos (2) de la cantera “Carayaca”

Entre los rasgos estructurales observables a gran escala se pueden destacar estructuras de deformación tales como: planos de diaclasa, pliegues y micropliegues (como estructuras características de los planos de foliación del esquisto). Esta configuración de estructuras permite establecer como rasgos estructurales generales, un macizo rocoso fracturado a causa de las dos litologías predominantes y al tectonismo de la Zona, características que concuerdan con lo dicho en la descripción geológica regional de Ostos (1987), en el Léxico Estratigráfico de Venezuela.

El macizo rocoso de la cantera, al estar expuestos a agentes atmosféricos como cambios de temperatura y precipitaciones, presenta distintos grados de meteorización en la matriz rocosa. De acuerdo a las tablas para observaciones de campo de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas del ISRM (1981), este grado de alteración varía de roca sana, hasta roca muy meteorizada a medida que nos acercamos a la cota más alta del afloramiento en dirección sur. La transición del color de la roca producto de la alteración, pasa de un color marrón ocre a un rojo mate oscuro. Esto se debe a la alteración química de los minerales que componen la roca (Tarbuck y Frederick, 2005).

Al momento de realizar las observaciones para estimar el comportamiento hidrogeológico del macizo, no se percibió humedad en las paredes frescas y meteorizadas de la roca expuesta en el pie de ambos bancos del afloramiento, resultado que coincide con la información suministrada por la empresa en el plan de explotación de la Cantera (VARCAM, C.A, 2015), en el cual se notifica que hasta el momento no se ha registrado humedad en los detritus de perforación, por tanto, se puede inferir que no hay presencia de agua en los niveles trabajados actualmente.

b) Zonificación del afloramiento

Tomando en cuenta los sectores homogéneos del afloramiento, se pueden distinguir dos Zonas en función de las características litológicas y estructurales que presentan, siendo estas las siguientes:

Zona A: Corresponde a la parte del afloramiento menos alterada por agentes atmosféricos, con una extensión vertical de 42 m y una extensión lateral que alcanza los 100 m en el banco inferior y 50 m en el banco superior. Las capas de esquistos y mármol presentan un grado de fracturación que varía de bloques grandes a pequeños a medida que nos acercamos a cotas superiores. Los bloques son de roca sana y poco meteorizada en las caras expuestas.

Zona B: Corresponde a la Zona más afectada del afloramiento, presentando rocas completamente descompuestas, pudiéndose observar fragmentos de roca friable en distintos niveles.

Dichas descripciones se pueden observar en la Figura N°26:

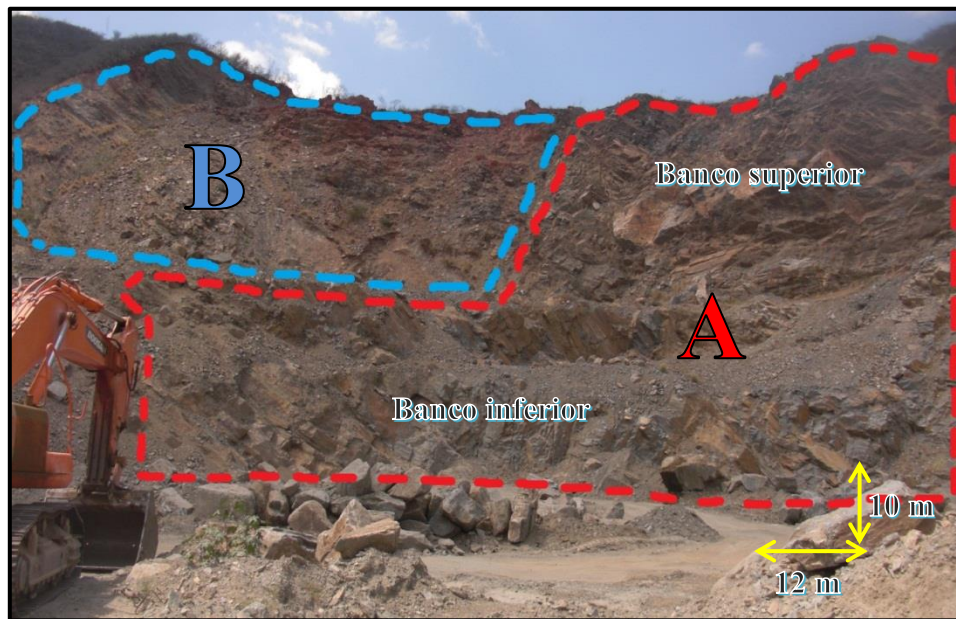


Figura N°26. División por Zonas de frente dos (2) de la cantera “Carayaca”

c) Evaluación de las discontinuidades

Las discontinuidades condicionan las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos; por ende serán definidas a continuación las características y propiedades de las mismas:

- **Elementos de yacencia**

En la Zona A se identificaron y midieron cuatro sistemas de discontinuidades (denominados D1, D2, D3 y F1) que corresponden a los planos de diaclasa y de foliación. Los sistemas de discontinuidades se comportaron espacialmente (rumbo y buzamiento) de forma análoga, tanto en el banco superior como el inferior (ver Tabla N° 14), sin embargo, el espaciamiento de las mismas establece la diferencia que existe en el grado de fracturación que presentan los bancos.

Tabla N° 14. Familia de discontinuidades presentes en la Zona A del macizo rocoso de la cantera “Carayaca”

Familia	Banco Inferior			Banco Superior		
	Rumbo	Ángulo de buzamiento	Espaciado (m)	Rumbo	Ángulo de buzamiento	Espaciado (m)
D1	N41W	76S	0,70	N41W	76S	0,40
D2	N31W	46S	0,80	N31W	46S	0,50
D3	N27W	85S	0,60	N27W	85S	0,30
F1	N82W	40N	3,00 (Mármol) 1,70 (Esquisto)	N82W	40N	2,30 (Mármol) 1,70 (Esquisto)

En la Figura N°27 se delimita la orientación de las principales familias presentes en la Zona A (Frente 2), las cuales se diferencian una de otras por la agrupación de los polos pertenecientes a los planos medidos en campo.

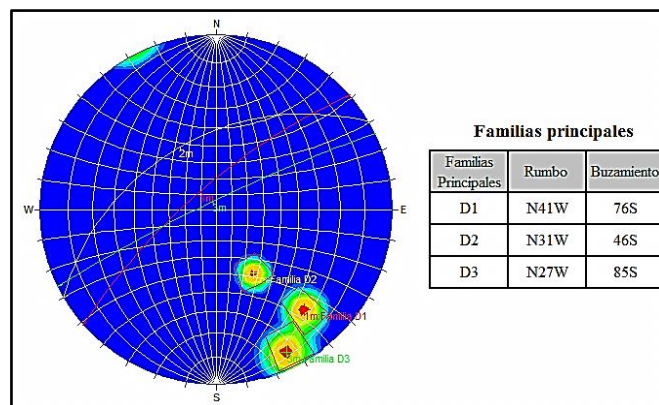


Figura N°27. Principales familias de discontinuidades presentes en el frente 2 de la cantera “Carayaca”

La variación que existe entre los valores de rumbo y buzamiento de cada una de las estructuras estudiadas, tal y como se muestra en la tabla N° 17, definen la forma de los bloques en las distintos niveles del afloramiento.

Estos valores de espaciado de unos cuantos centímetros a 1 o 2 metros influirán directamente en el comportamiento mecánico del macizo, donde los procesos de deformación y rotura estarán controlados por las propiedades de los planos de debilidad, de acuerdo a lo establecido por el ISRM (1981).

A continuación se presentan las familias de discontinuidades presentes en la Zona A del afloramiento:

- **Zona A (banco inferior)**

En la imagen N°28 y N° 29 se muestran las familias de diaclasas paralelas del banco inferior descritas en la tabla N° 16.

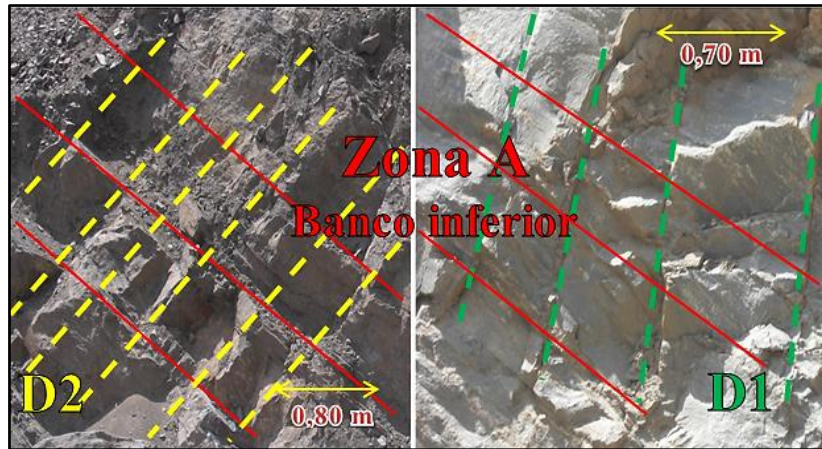


Figura N°28. Familia de diaclasas D1 (color verde), D2 (color amarillo) y planos de foliación (color rojo) del macizo rocoso de la cantera “Carayaca”



Figura N°29. Familia de diaclasas D3 (color azul) y planos de foliación (color rojo) del macizo rocoso de la cantera “Carayaca”

- **Zona A (Banco superior)**

En la Figura N° 30 se muestran las principales familias de diaclasas paralelas presentes en el banco superior de la Zona A, el grado de fracturamiento es más pronunciado en este banco que en el inferior, esto puede deberse, a que esta área del afloramiento fue la primera en ser afectada por la planificación de explotación, lo que generó una perturbación del estado tensional de esfuerzos que se tenía en un principio, dando inicio a la propagación de grietas y fracturas, según Gonzalez De vallejo (2002), estas discontinuidades son denominadas diaclasas de relajación

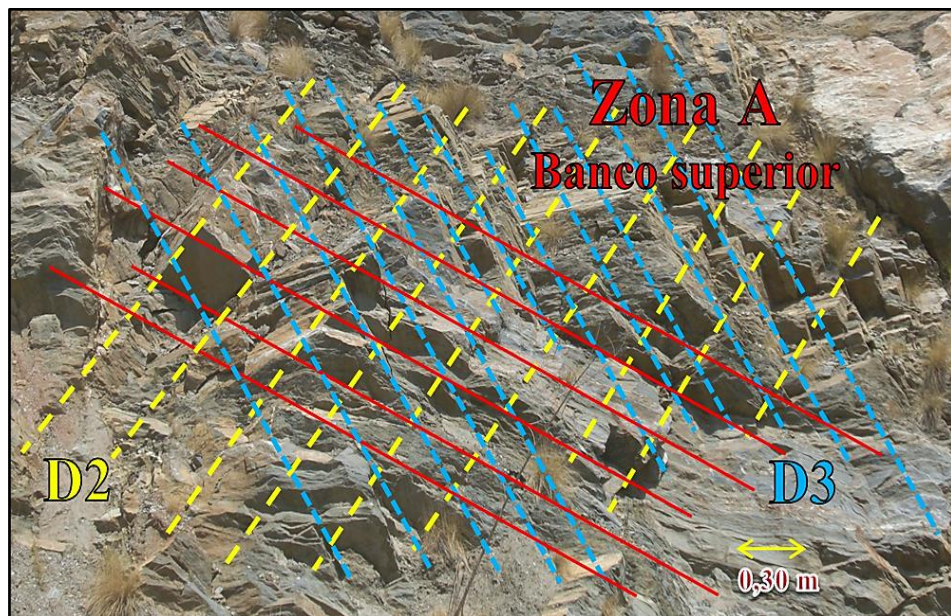


Figura N°30. Familia de diaclasas D3 (color azul), D2 (color amarillo) y planos de foliación (color rojo) del macizo rocoso de la cantera “Carayaca”

- **Rugosidad**

La rugosidad se determinó en campo por comparación visual de las discontinuidades con los perfiles estándar de rugosidad de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981). Obteniendo como resultado una rugosidad **PLANA-RUGOSA** para todas las discontinuidades presentes en la Zona “A” del macizo rocoso en el frente de explotación. En la Figura N°31, se puede percibir claramente lo antes descrito.



Figura N°31. Rugosidad en las discontinuidades del macizo rocoso de la cantera “Carayaca”

- **Continuidad**

La continuidad de las familias se determinó con mediciones *in situ*, en aquellas Zonas que no excedían los 11 m de altura, y mediante fotografías, para aquellas en las que su longitud superaba dicha medida, esto por razones de seguridad. El valor de la continuidad de las tres familias está en un rango de 10-20 m (D1=10m, D2=15 m, D3=20 m), tanto en el banco superior como el inferior. Por tanto las tres familias presentan una **CONTINUIDAD ALTA**, según los intervalos de medida de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981). Estas características pueden ser apreciadas en la Figura N°26.

- **Abertura**

Las aberturas de las discontinuidades se midieron con el calibrador Pie de Rey. Estas se encontraban en un rango de 0,1 - 1 mm (D1=0,1 mm, D2=0,26 mm, D3=0,5 mm). De acuerdo con las tablas de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981), se trata de una abertura que varía de **CERRADA** a **PARCIALMENTE ABIERTA**. Se observaron grietas producto de la voladura con abertura de 5 mm, que no se consideran en el análisis, ya que no es objeto de estudio del presente trabajo.

- **Espaciamiento**

Como se ha venido mencionando, el espaciado entre los planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques en el frente de explotación; el espaciado modal

de cada familia de discontinuidad (D1, D2 y D3) se muestra en la Tabla N°17, de la cual se puede obtener como espaciado medio para cada banco de la Zona “A” lo siguiente:

- a) Banco Inferior : (0,70 m)
- b) Banco Superior : (0,40 m)

De acuerdo con la descripción del espaciado del ISRM (1981), la Zona “A” poseen un espaciado **MODERADAMENTE JUNTO** en el banco superior y **SEPARADO** en el banco inferior.

- **Relleno**

La familia de diaclasa D1 y D2 no presentaron relleno de cavidades, tanto en el banco inferior como en el superior, sin embargo, para ambos casos, la familia D3 se encuentra rellena de calcita cristalizada (ver Figura N°32), material que no puede ser considerado un producto de la alteración de las paredes de las discontinuidades, sino, un material que se alojó en estas cavidades durante el proceso de formación y deformación de la matriz rocosa por acción de algún fluido hidrotermal, como los que menciona el Prof. Sebastián Grande en el tema 2, de sus guías de “Yacimientos de Minerales Metálicos y no Metálicos”. Por tanto, se puede inferir que estas son las más antiguas, ya que existen áreas en donde se presentan la misma familia de discontinuidad, pero sin relleno.



Figura N°32. Relleno de alguno de los planos de diaclasa D3 no expuestos del macizo rocoso de la cantera “Carayaca”

- **Alteración**

En las paredes de las discontinuidades se observaron cambios en el color original de la matriz rocosa (ver Figura N°33), debido a la oxidación de los minerales que componen la roca, el color es marrón ocre en las discontinuidades del banco superior e inferior de la Zonas “A”, al presentar dichos cambios se ha clasificado como **LEVEMENTE METEORIZADA** de **GRADO II**, de acuerdo a la tabla de grado de meteorización del ISRM (1981).

La roca descompuesta de la Zona “C” presenta un color rojizo claro a rojo oscuro, el mismo se comporta según la tabla de índices de campo para suelo del ISRM (1981), como un suelo de **CLASE S₄** (se debe apretar con fuerza para hincar el dedo).



Figura N°33. Alteración de las discontinuidades de la Zona “A” del macizo rocoso de la cantera “Carayaca”

6.1.1 Propiedades mecánicas de la roca que conforman el macizo rocoso

Las muestras de roca recolectadas durante la investigación geotécnica, fueron ensayadas para determinar las propiedades de resistencia de la roca intacta.

- **Resistencia a compresión**

Para el ensayo de compresión no confinada fueron ensayadas un total de seis muestras, tres de cada litología (mármol y esquisto). En la Tabla N° 15, se presentan los resultados más resaltantes obtenidos con la ejecución de este ensayo.

Tabla N° 15. Resultado de los ensayos de compresión simple en las muestras

Código	Sección (Cm2)	Clas. Según ISRM	Resistencia a la compresión(MPa)
2108-TRX	26,79	Alta – (R6)	103,87
2110-TRX	26,60	Media – (R5)	57,70
2111-TRX	26,78	Media – (R5)	82,84
2120-TRX	26,60	Baja – (R3)	13,76
2122-TRX	26,69	Baja – (R3)	11,50
2124-TRX	26,42	Baja – (R3)	23,69
Desviación estándar			35,40
Promedio			48,89

Los primeros tres valores de resistencia a la compresión simple (RCS) que se muestran en la tabla N° 15 corresponden al mármol, dicha litología presenta una RCS mínima igual a 57,70 MPa y una RCS máxima de 103,87 MPa, de acuerdo a la tabla de índices de capo para roca del ISRM (1981), dichos valores son característicos de una roca que varía de **DURA** a muy **DURA**.

Los valores de RCS de las muestras 2120, 2122 y 2124 corresponden al esquisto, por su parte, este material presenta un valor de RCS mínimo de 11,50 MPa y un valor de RCS máximo de 11,50 MPa. El cual se encuentra fuera de los valores típicos de RCS mínimos y máximos que citan autores como Bongiorno (2012) y Gonzalez De Vallejo (2002). Al hacer uso de las tablas de índice de campo del ISRM (1981), el esquisto es clasificado como una roca **BLANDA**.

El grado de meteorización que presentaron los núcleos de roca en ambas litologías, es una observación importante para responder a este comportamiento, ya que de acuerdo al ISRM (1981), las variaciones de color causadas por la meteorización disminuyen la resistencia de la roca. Sin embargo la presencia de planos de debilidad que causaron la rotura prematura de algunos núcleos, es también un factores que causo esta discrepancia de valores en cada tipo de roca. Las características antes descritas pueden ser apreciadas en la FiguraN°34, donde los planos de falla presentes en ambas litologías son resaltados con una línea roja.

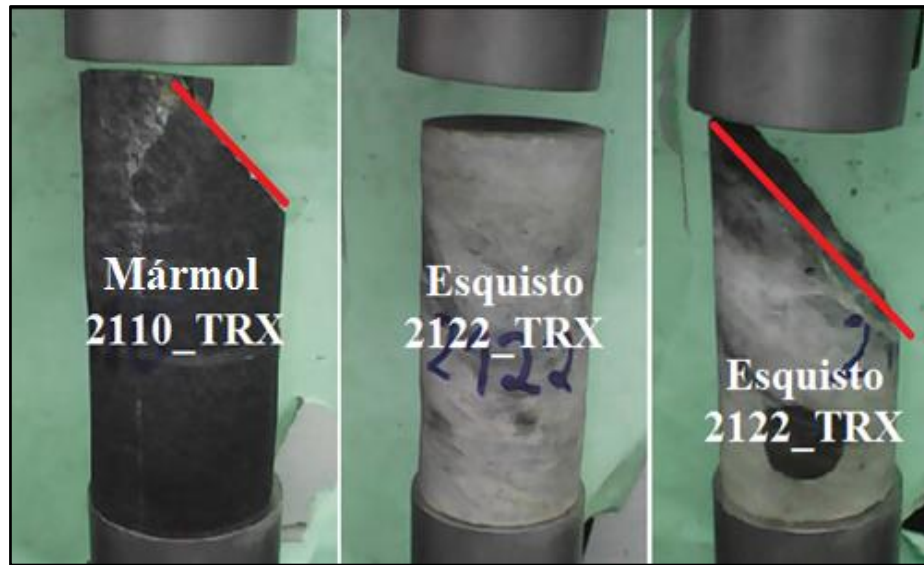


Figura N°34. Ensayos de compresión simple realizados sobre las muestras de rocas extraídas del macizo rocoso de la cantera “Carayaca”

A pesar de que en términos estadísticos la desviación estándar que existe entre los valores de RCS de la tabla N° 18, reflejan poca precisión, para el objeto de estudio se hace necesario disponer de un valor promedio de RCS para ambas litologías, el cual representa en términos generales la RCS de la matriz rocosa.

Tras la determinación de la media, el valor promedio de RCS es de 48,49 MPa (ver tabla N° 18) el cual corresponde a una roca **MODERADAMENTE DURA**, según la tabla de calidad del ISRM (1981).

Si el caso en estudio fuese el diseño de un equipo de fragmentación, el valor de RCS que se tomaría en consideración no sería la media de los valores, ya que el equipo estaría en desventaja al momento de fragmentar rocas con mayor resistencia a la compresión y se presentarían averías constantes.

- **Resistencia a tracción**

Para el ensayo de tracción directa fueron ensayadas un total de ocho muestras, cuatro de cada litología (mármol y esquisto). En la tabla N° 16, se presentan los resultados más resaltantes obtenidos con la ejecución de este ensayo.

Tabla N° 16. Resultado de los ensayos a tracción en las muestras.

Código	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Clas. Según ISRM	Resistencia a la tracción	Esfuerzo Axial Aplicado (MPa)
2109-1_BRA	58,30	32,60	Baja (R3)	-7,52	9,90
2109-2_BRA	58,20	29,70	Baja (R3)	-7,47	22,42
2109-3_BRA	58,20	28,00	Baja (R3)	-6,62	19,86
2109-4_BRA	58,20	28,00	Moderada (R4)	-9,16	27,49
2123-1_BRA	58,20	33,00	Baja (R3)	-4,46	13,39
2123-2_BRA	58,20	32,90	Muy baja (R2)	-0,84	2,51
2123-3_BRA	58,20	30,00	Moderada (R4)	-9,95	29,86
2123-4_BRA	58,20	31,00	Baja (R3)	-6,16	18,47
Desviación estándar				2,67	8,52
Promedio				-6,52	17,98

Los ejemplares pertenecientes al mármol corresponden a las muestras 2109, las cuales presentan un valor mínimo de resistencia a la tracción de -6,62 MPa y un valor máximo de -9,16 MPa, no obstante, el esquisto con sus ejemplares correspondientes a las muestras 2123, posee valores de resistencia a la tracción comprendidos entre -0,84 y -9,95MPa.

La desviación estándar que existe entre los valores de resistencia a la tracción de la tabla N° 18 es de 2,67MPa, valor que en términos estadísticos le otorga mayor precisión al valor promedio de resistencia a la tracción.

Solo una de las muestras de esquisto (2123-2) tiene como resultado un valor fuera del rango promedio de los obtenidos en los demás ejemplares de la misma litología; discrepancia que pudo ser causada por la rotura prematura de la muestra a causa de los planos de foliación del esquisto. Las características antes descritas pueden ser apreciadas en la FiguraN°35, donde los planos de foliación son resaltados con una línea roja.



Figura N°35. Muestras de rocas extraídas del macizo rocoso de la cantera “Carayaca” para ser sometidas a ensayos de tracción

El valor promedio de la resistencia a la tracción para ambas litologías es de 17,98 MPa, resultado que puede ser utilizado para establecer análisis y conclusiones acerca del comportamiento que presentara el material al ser sometido a esfuerzos de tracción. El valor promedio de esfuerzo axial aplicado a las muestras permite clasificar a la roca según la tabla de calidad del ISRM (1981), como una roca **BLANDA**

6.1.2 Clasificación geomecánica del macizo rocoso

a) Índice de calidad de la roca “RQD”

El RQD se ha determinado mediante el parámetro J_v , que representa el número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (1 m^3) del macizo rocoso. Ante la dificultad de observar tridimensionalmente el afloramiento, el valor de J_v se determinó contando las discontinuidades de cada familia que interceptan la longitud correspondiente a cada sector. Tomando en cuenta que la Zona “C” la roca se encuentra totalmente descompuesta, solo se aplicó el método en el banco superior e inferior de la Zona “A”, en la tabla N° 17 se muestran los resultados obtenidos tras la aplicación de la ecuación empírica de Palmstrom (1975).

Tabla N° 17. Calculo del RQD mediante la ecuación empírica de Palmstrom (1975) aplicada en el macizo rocoso de la cantera “Carayaca”

Banco inferior	Banco superior
$J_v = \frac{n^{\circ} D}{l_1} + \frac{n^{\circ} D}{l_2} + \frac{n^{\circ} D}{l_3}$	$J_v = \frac{n^{\circ} D}{l_1} + \frac{n^{\circ} D}{l_2} + \frac{n^{\circ} D}{l_3}$
$J_v = \frac{75}{33} + \frac{76}{34\ m} + \frac{74}{32}$	$J_v = \frac{22}{7.1\ m} + \frac{26}{8.25\ m} + \frac{25}{6.5}$
$J_v = 6,82 \frac{\text{Grietas}}{m^3}$	$J_v = 10.06 \frac{\text{Grietas}}{m^3}$
$RQD = 115 - 3.3 * J_v$	$RQD = 115 - 3.3 * J_v$
$RQD = 115 - 3.3 * 6,82$	$RQD = 115 - 3.3 * 10.06$
$RQD = 92,50 \%$	$RQD = 81.8 \%$

De acuerdo a los resultados de la tabla N° 17, la calidad de la roca se considera **BUENA** para ambos bancos (% RQD entre 75-90), según la tabla de clasificación de Deere (1964), no obstante, de acuerdo con las tablas de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas ISRM (1981), el grado de fracturación del macizo rocoso en función de las familias de discontinuidades (valor de J_v) varía con niveles de **BLOQUES DE TAMAÑO MEDIO PARA EL BANCO INFERIOR** y niveles de **BLOQUES PEQUEÑOS PARA EL BANCO SUPERIOR**.

b) Tamaño promedio de bloque

Para determinar el tamaño promedio de bloque correspondiente a cada sector en estudio del afloramiento (Zona A), se hará uso del índice de tamaño de bloque (I_b) citado en el trabajo de accenso del Prof. Miguel Castillejo (1993), el cual representara las dimensiones promedios de los bloques de roca típicos. Para dicho cálculo se hará uso de la siguiente ecuación :

$$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3} \quad (7)$$

Dónde: S_i son los espaciamientos modales de cada discontinuidad.

Tabla N° 18. Cálculo del índice I_b aplicada en el macizo rocoso de la cantera “Carayaca”

Banco inferior	Banco superior
$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3}$	$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3}$
$I_b = \frac{(0,70 + 0,80 + 0,60)m}{3}$	$I_b = \frac{(0,40 + 0,50 + 0,30)m}{3}$
$I_b = 0,70 \text{ m}$	$I_b = 0,40 \text{ m}$

De acuerdo a los resultados de la tabla N° 18, el banco inferior presenta tamaños de bloques típicos con dimensiones promedios de 0,70 m, mientras que el banco superior dispone de bloques típicos de 0,40 m, valores que difieren uno del otro a causa del índice de calidad que posee cada banco.

c) Valoración de la masa rocosa por el índice “RMR” (1989)

Para la valoración total del macizo se asignara una puntuación a cada uno de los parámetros antes descritos, en función de la tabla de clasificación geomecánica diseñada por Bieniawski (1981).

- **Resistencia a la compresión uniaxial de la roca**

El valor promedio de la resistencia a compresión para ambas litologías que se muestra en la Tabla N° 15, corresponde a una roca moderadamente dura con una **VALORACIÓN DE 4.**

- **Índice de calidad de la roca, RQD**

De acuerdo al índice de calidad de la roca “RQD” descrito anteriormente para ambas Zonas en la tabla N° 17, la calidad de la roca se considera buena, y su **VALORACIÓN ES DE 17.**

- **Espaciamiento de las discontinuidades**

Para definir la valoración del espaciamiento de cada familia se hizo uso de la dimensión del cubo de roca más pequeño definido por la intersección de las discontinuidades (0,40 m), por ende la **VALORACIÓN SEGÚN LAS TABLAS DEL ISRM (1989) ES DE 10.**

- **Condición de las discontinuidades**

La tabla N° 19, contiene las características de las tres familias de discontinuidades presentes en el frente de explotación, con su respectiva valoración según las tablas de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM).

Tabla N° 19. Valoración de las Características que presentan las discontinuidades del macizo rocoso de la cantera “Carayaca”

Parámetro	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Valoración
Long. Discont (m)	10	15	20	1
Abertura (mm)	0.1	0.26	0.5	4
Rugosidad	Plana lisa	Plana lisa	Plana lisa	5
Relleno	Sin relleno	Sin relleno	Relleno duro	6
Meteorización	Levemente meteorizada	Levemente meteorizada	Levemente meteorizada	5
Total				21

- **Condiciones del agua subterránea**

El macizo rocoso se presenta totalmente seco en cada una de las Zonas, por lo tanto su **VALORACIÓN ES DE 15**, según el parámetro número cinco de la clasificación geomecánica RMR.

Valoración total del macizo (Zona A)

En la tabla N° 20 se presenta de forma agrupada los resultados obtenidos en la valoración de la masa rocosa, para poder determinar a través de la sumatoria de los mismos la valoración total del macizo o RMR *básico*.

Tabla N° 20. Valoración total del macizo rocoso para la Zona A.

Parámetro	Valoración
RCS	4
RQD	17
Espaciamiento de las longitud de las discontinuidades	10
Abertura	1
Rugosidad	4
Relleno	5
Alteración	6
Condición de agua subterránea	5
TOTAL (RMR <i>básico</i>)	67

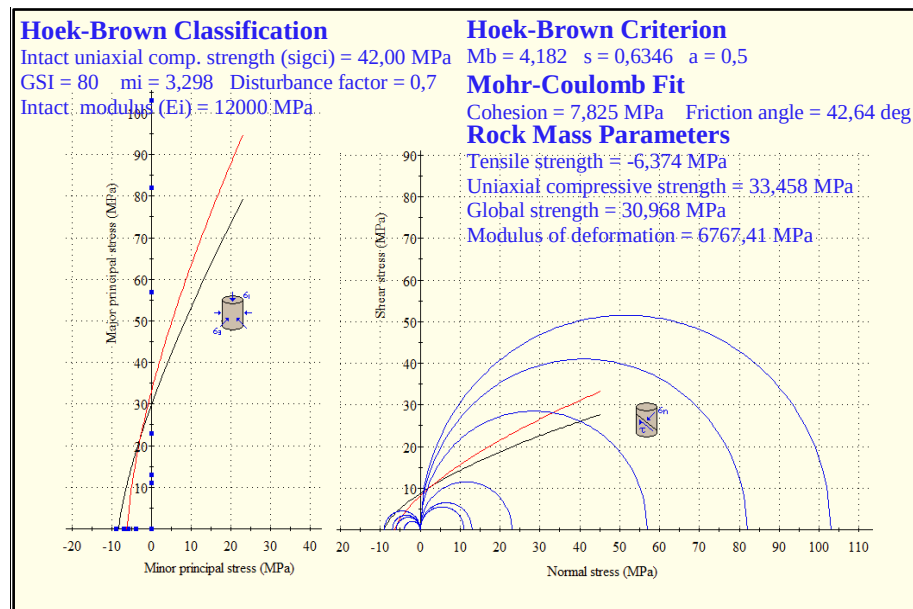
El RMR *básico* que se muestra en la tabla N° 22 proporciona información respecto a la calidad del macizo rocoso de la cantera “Carayaca”, posicionándolo en la tabla de calidad de la roca de Bieniawski (1981), como un macizo de **CATEGORIA III**, el cual posee las siguientes características:

- **LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO SE CONSIDERA NORMAL.**
- **SE ESTIMA UNA COHESIÓN DE 200-300 KPA Y UN ÁNGULO DE FRICCIÓN DE 25°- 35°.**

d) Estimación del comportamiento geomecánico del macizo

En el Gráfico N° 2 correspondiente al modelo geomecánico general, se puede observar que la envolvente que describe el programa esta resaltada en color negro, mientras que la curva de ajuste es color rojo. Para la obtención de esta envolvente de ajuste se asignó al macizo un GSI que varía entre 67 - 90 (Macizo rocoso con bloques entabados y superficies rugosas ligeramente meteorizadas) y un factor de alteración D: 0,7 (alteración de la roca causada por voladuras de producción).

Gráfico N° 2. Comportamiento geomecánico del macizo



Los valores obtenidos una vez realizado el ajuste son: una resistencia a la compresión de 33,458 MPa, valor que al clasificarlo según el ISRM (1981),

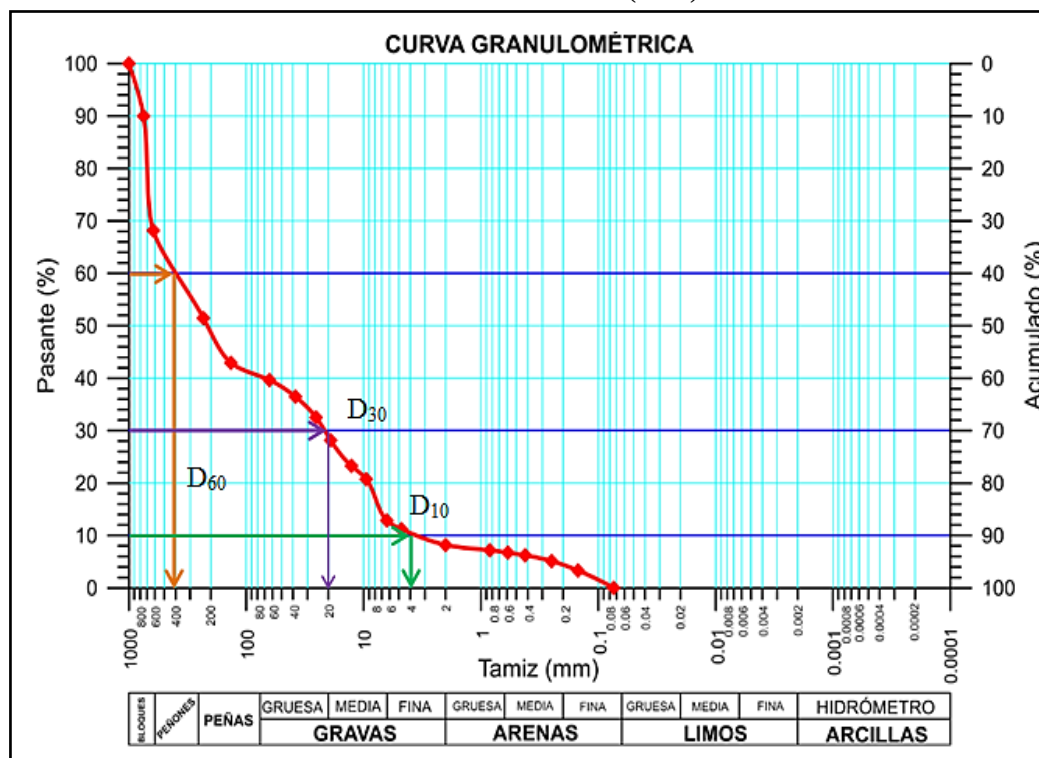
corresponde a una roca **MODERADAMENTE DURA**, la tracción obtenida es de - 6,374 MPa, la cohesión es de 7,825 MPa y un ángulo de fricción de 42,64 grados.

Cualquier combinación de esfuerzos normales y tangenciales que se encuentre debajo de la envolvente de falla, se encontrará en un estado elástico de deformaciones, no obstante, si esta combinación se encuentra sobre esta, se producirá la rotura de la roca.

6.2 Análisis dimensional del todo uno

En el grafico N° 3 se muestra la distribución granulométrica del todo uno de alimentación de las dos plantas que posee la cantera “Carayaca”.

Grafico N° 3. Distribución granulométrica del todo uno de alimentación
Fuente: VARCAM C.A. (2015)



Las partículas finas menores a 7,1 mm dentro del material de alimentación representan el 20,75 % de la distribución total de los tamaños comprendidos entre 06 – 800 mm. Esta distribución de tamaños es representativa del material que se

obtiene tras la fragmentación por voladura, ya que el muestreo estadístico llevado a cabo para su obtención lo permite.

Tomando en cuenta lo antes expuesto, al referirnos a él todo uno de alimentación, haremos referencia directa al material producto de la voladura, el cual tendrá un comportamiento granulométrico similar al del material mostrado en el gráfico N° 3. Para dar inicio al análisis dimensional de la gradación de tamaños del material antes citado, se determinó el coeficiente de uniformidad C_u y el coeficiente de curvatura C_c a través de las siguientes ecuaciones tomadas de Cruz (2009):

Coeficiente de uniformidad (C_u)

Coeficiente de concavidad (C_c)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (8)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} * D_{10})} \quad (9)$$

Dónde:

D_x : Es la abertura del tamiz por el que pasa el x % de la muestra

En la tabla N° 21 se muestran los resultados obtenidos tras la aplicación de las ecuaciones de Cruz (2009):

Tabla N° 21. Cálculo del coeficiente de uniformidad y concavidad del todo uno de alimentación de la cantera “Carayaca”

C_u	C_c
$D_{60} = 400 \text{ mm}$	$D_{60} = 400 \text{ mm}$
$D_{10} = 4 \text{ mm}$	$D_{10} = 4 \text{ mm}$
$D_{30} = 20 \text{ mm}$	$D_{30} = 20 \text{ mm}$
$C_u = \frac{400}{4}$	$C_c = \frac{(20)^2}{(400 * 4)}$
$C_u = 100$	$C_c = 0,25$

El valor del coeficiente de uniformidad (C_u) que se muestra en la tabla N° 21 nos indica que el todo uno de alimentación posee una distribución de partículas con una graduación continua de tamaños (partículas bien graduadas) comprendidas entre peñones y gravas, no obstante, el coeficiente de concavidad (C_c) al ser un número

menor que uno, indica que hay mayor cantidad de gruesos que de finos (de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC-32).

El porcentaje de partículas gruesas y finas generadas en la primera etapa de fragmentación del material, es otro factor a considerar en el análisis del mismo, en la tabla N° 22 se muestra de forma globalizada los porcentajes correspondiente a cada tipo de partícula.

Tabla N° 22. Porcentaje de partículas gruesas y finas dentro del todo uno de alimentación de la cantera “Carayaca”

Tipo de partículas	Intervalo de tamaño (mm)	Cantidad en (%)
Finas	< 7,00	20,75
Gruesas	7- 750	79,25

El material de alimentación de las plantas presenta un porcentaje de 20,75 % en partículas finas de tamaño nominal menor a 7,1 mm, dicho valor se encuentra fuera de los porcentajes normales de 0-10 % que se manejan en programas como *Surface Study (Software* de cálculo de curvas granulométricas generadas por voladura, desarrollado por la empresa *SANDVIK*), o en las curvas granulométricas tradicionales desarrolladas para optimizar una planta de fragmentación (Concha A., 1994). Las partículas mayores al tamaño máximo de admisión de los equipos de trituración primaria representan el 31,83 % de la distribución, valor que en términos de costo operacional es malo, ya que se requiera de una disminución de tamaño adicional para poder ser incluido en la alimentación de las plantas.

En la Figura N°36 se muestra la granulometría del material posterior a la fragmentación por voladura; visualmente se puede apreciar la distribución porcentual que existe entre las partículas finas y gruesas descritas en la tabla N° 22.



Figura N°36. Variación Granulométrica del material volado en el Frente 2 de la cantera “Carayaca”

Este comportamiento se debe a los parámetros de resistencia y a las características estructurales que presenta el macizo en toda la extensión del afloramiento. La mayor parte de los sobre tamaños según el histórico de voladuras llevado por los técnicos perforistas provienen del banco inferior, donde la dimensión del tamaño promedio de bloque de esta Zona coincide con la dimensión de los sobre tamaños medidos post-voladura. En función de los resultados obtenidos en las pruebas de desgate y de los ensayos de resistencia llevados a cabo sobre las dos litologías predominantes, se puede afirmar que la mayor parte de los finos de la voladura provienen de la fragmentación del esquisto.

La generación de finos asociada a la fragmentación del esquisto puede deberse a dos mecanismos a los cuales es sometida la roca al momento de la fragmentación. Según un estudio denominado *less fines* patrocinado por la Unión Europea y llevado a cabo por reputados especialistas de universidades y empresas del sector minero de esta región, el primer mecanismo está definido por el choques y roce entre diferentes fragmentos de roca durante el movimiento de la voladura y el segundo es el generado por la compresión alrededor de los barrenos, por acción directa de la detonación del explosivo.

Los efectos que producen los finos provenientes de la voladura ya han sido estudiados por la empresa ORICA MS-LA, a través del análisis operacional de las plantas de agregados de varios de sus distintos clientes a nivel mundial. Con el estudio lograron demostrar que las partículas finas impactan directamente los procesos de planta, siendo la capacidad, la eficiencia y el consumo de energía de los equipos de fragmentación los principales afectados cuando la granulometría del material volado esta fuera de los rangos de alimentación para los cuales fueron diseñados.

Basados en las conclusiones de la empresa ORICA, es posible afirmar que los finos contenidos en el material proveniente de la voladura de la cantera “Carayaca”, están causando inconvenientes en las cámaras de trituración de los equipos de fragmentación, los cuales modifican la granulometría de salida de estos equipos, esta hipótesis será sustentada con los resultados obtenidos en la siguiente sección.

6.3 Puntos críticos de generación de finos

En función de los datos que se obtuvieron en el laboratorio, acerca del análisis granulométrico de cada una de las muestras recolectadas en los circuitos de trituración de las plantas, se presentan los siguientes resultados para cada una de ellas (en la imagen N°37 se muestran varios puntos de toma de muestras):



Figura N°37. Toma de muestras en los circuitos de las plantas de la cantera “Carayaca”

Planta 1

La Planta 1 fue alimentada de acuerdo a los dos tipos de alimentación citados en la etapa I del marco metodológico: de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

- **Trituradora de mandíbula**

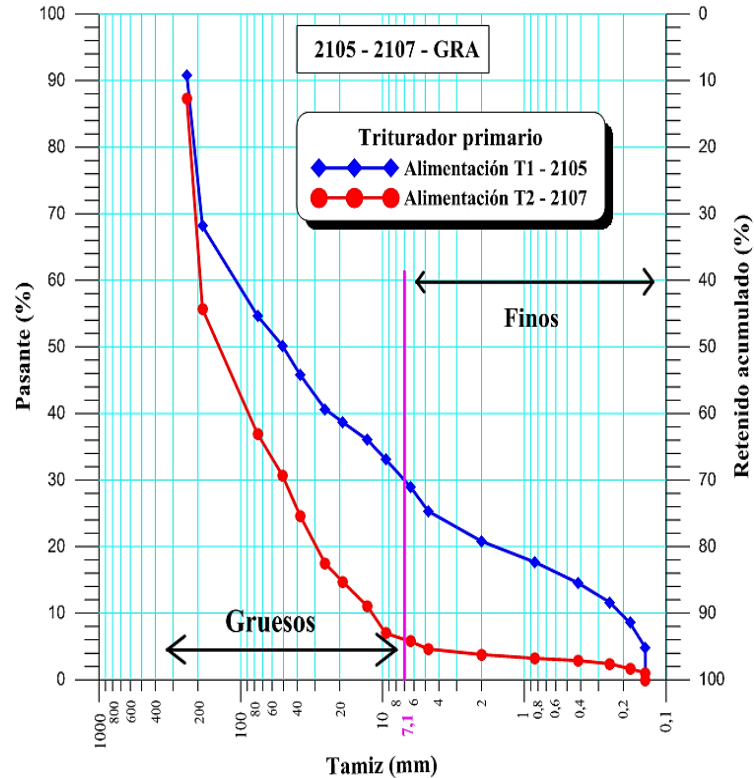
En la tabla N° 23, se observa una disminución en la producción de finos del triturador primario de Planta 1, de un 5,39%, cuando la tolva de entrada al circuito de la planta es alimentada solo con fragmentos de rocas que no exceden el tamaño máximo de admisión del equipo y que en su mayoría son de marmól (alimentación tipo 2).

Tabla N° 23. Comparación porcentual de los tipos de alimentación en el triturador primario de planta1

Trituradora de Mandíbula REXNORD				
Tipo de alimentación	% Finos en la entrada	% Finos en la salida	% Finos generados	Diferencia (%)
ALT1 (Material con finos)	20,75	33,14	12,39	-5,39
AL2 (Material sin finos)	0	7	7	

En el grafico N° 4, donde se comparan las curvas granulométricas de ambos tipos de alimentación, se percibe un aumento del 19,67 % en las partículas gruesas comprendidas entre 9,52 mm (3/8”) y 76,20 mm (3”), no obstante, La gradación continua de tamaños de ambas curvas es característico de un material bien graduado (de acuerdo a la gráfica guía de la norma técnica colombiana NTC-32) con una tendencia similar hasta el tamiz de malla cuadrada igual a 9 mm, donde la alimentación T1 genera como resultado un total de 33,14 % de partículas finas en la salida de este equipo y la alimentación T2 un total de 7 %.

Grafico N° 4. Distribución granulométrica del triturador primario de Planta 1



- Trituradora de cono**

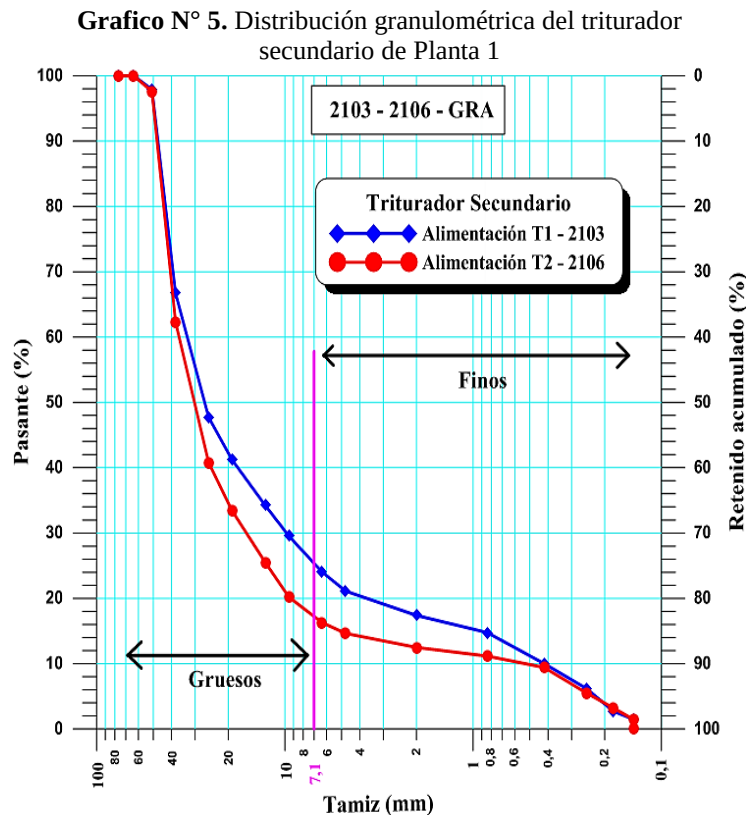
En la tabla N° 24 se percibe una disminución de 9,35 % en la producción de finos del triturador secundario, cuando el material de estrada posee solo partículas gruesas (alimentación tipo 2).

Tabla N° 24. Comparación porcentual de los tipos de alimentación en el triturador secundario de planta1

Trituradora de Cono SYMONS				
Tipo de alimentación	% Finos en la entrada	% Finos en la salida	% Finos generados	Diferencia (%)
ALT1 (Material con finos)	7,83	29,54	21,71	-9,35
AL2 (Material sin finos)	7,83	20,19	12,36	

Esta mejora del 9,35 % en la distribución de partículas comprendidas entre 9,52 mm (3/8”), y 76,20 mm (3”) se ve reflejado en el Gráfico N° 5, donde ambas curvas presentan una gradación de partículas característico de un material bien

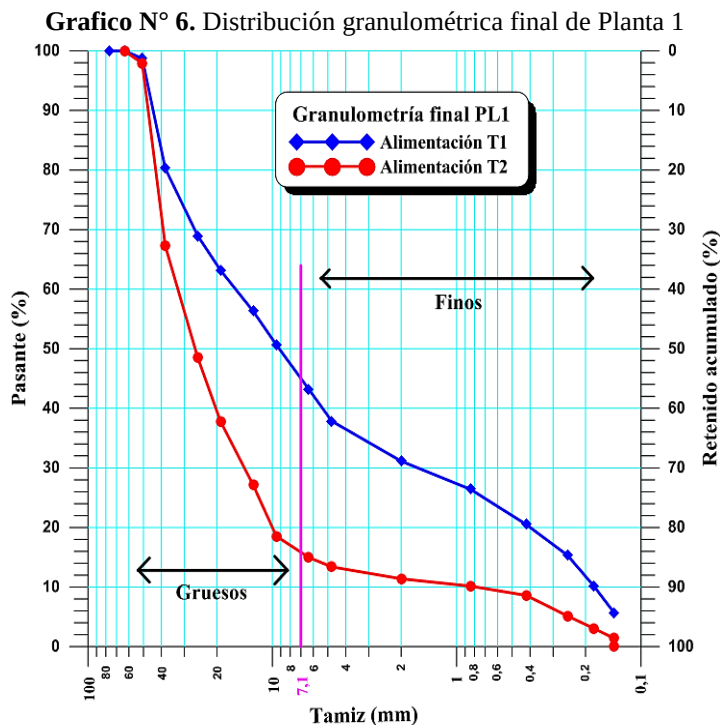
graduado (de acuerdo a la gráfica guía de la norma técnica colombiana NTC-32) con una tendencia similar de inicio a fin, sin embargo, la alimentación T1 genera como resultado un total de 29,54 % de partículas finas en la salida de este equipo mientras que la alimentación T2 solo un 20,19 %.



Granulometría final de Planta 1

Esta disminución en la producción de finos que se ha venido observando en los equipos de disminución de tamaño de Planta 1, se ve reflejada a su vez en la curva granulométrica final de la misma. El grafico N° 6 integra la producción de cada equipo de fragmentación tanto finos como grueso según cada tipo de alimentación, las mismas incluyen a su vez los finos provenientes del todo uno de alimentación.

Ambas curvas presentan una tendencia similar hasta el tamiz de abertura cuadrada igual a 7,1 mm, donde el comportamiento de ambas curvas cambia debido al porcentaje de finos acumulado.



Con la alimentación tipo 2 se obtiene un aumento en la producción de agregado grueso del 32,12 %, y una disminución del 11,36 % en los finos generado por los equipos de fragmentación de esta planta, dichos valores son representativos del 100 % del material que entra a la planta (balance de masa). En la Figura N° 38 en la cual se resumen los resultados correspondientes a la identificación de puntos críticos de Planta 1 para ambos tipos de alimentación, se muestran los porcentajes de masa para cada producto de la planta.

Los resultados obtenidos con la alimentación T1 presentan un 10 % de diferencia con el realizado por Gavidia y Pimentel (2014). Lo que demuestra que la técnica de muestreo visual aplicada por los bachilleres presenta un 90% de exactitud respecto al realizado (muestreo estadístico y análisis granulométrico por tamizado).

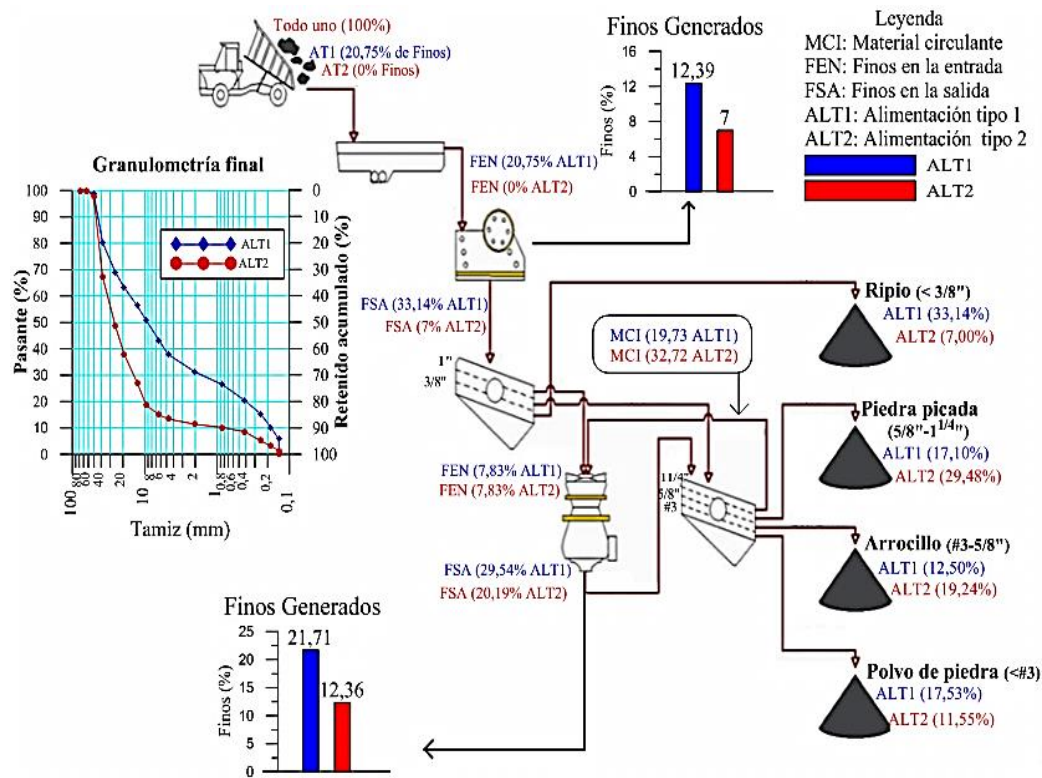


Figura N°38. Puntos críticos de generación de finos en Planta 1

El equipo que genera mayor cantidad de finos (partículas menores a 7,1 mm) dentro de la operación de fragmentación de Planta 1, es la trituradora de cono SYMONS. Científicos como Taggart (1945), han demostrado que proporcionalmente hay más gruesos y menos finos en los productos de estos equipos cuanto menor es la separación de los forros en la descarga, comportamiento que mejora cuando el material a fragmentar no posee planos de debilidad en su estructura. Es por ende que la granulometría de salida de este equipo mejora con la alimentación tipo dos, la cual poseía fragmentos de roca, que en su mayoría eran de mármol y sin finos.

La producción de finos que presenta la trituradora de mandíbula cuando es alimentada con un material T1, se debe al efecto “colchon” que causan los finos dentro de la cámara de trituración de este equipo de disminución de tamaño. Este fenómeno que ha sido estudiado por Taggar (1945), ocurre cuando los granos ya triturados por la fragmentación por voladura cumplen las características de salida del

equipo instalado, donde la acumulación y acomodo de estas genera sobre triturados que aumentan la cantidad de finos.

Planta 2

La Planta 2 posee un alimentador vibratorio con una chapa de clasificación dimensional de abertura cuadrada igual a 3/8", que separa las partículas inferiores a dicho tamaño del material de alimentación, por ende, solo fue estudiado el comportamiento que producen las partículas mayores a dicho tamaño. La identificación de puntos críticos de esta planta se realizó en función de un material de alimentación T1 presentando los siguientes resultados:

- **Trituradora de mandíbula**

El triturador primario de Planta 2 presenta una producción de finos del 9,52 %, tal y como se muestra en la tabla N° 25, valor que es obtenido asumiendo que teóricamente todas las partículas menores a 7,1 mm fueron separadas del material de alimentación por el vibro alimentador (0% de finos en la entrada).

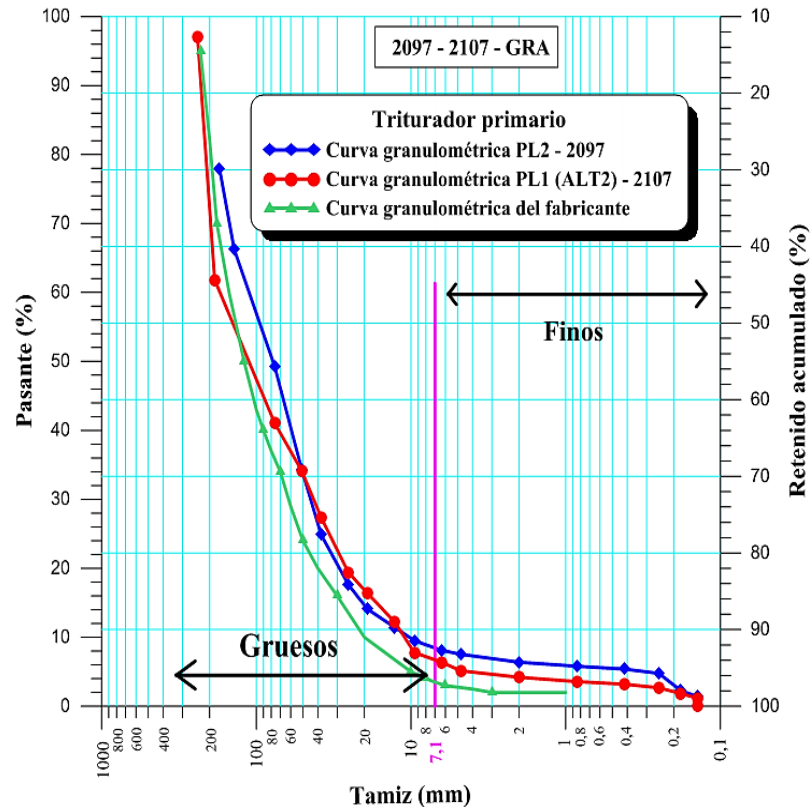
Tabla N° 25. Porcentaje de finos generados por el triturador primario de Planta 2

Trituradora de Mandibula XCMG	% Finos en la entrada	% Finos en la salida	% Finos generados
	0	9,52	9,52

El comportamiento de la curva granulométrica del triturador primario de Planta 2, es similar a la del triturador primario de Planta 1 en la modalidad de alimentación tipo dos (ver Gráfico N° 7), esto se debe a que ambos materiales de alimentación carecen de partículas finas, lo que aminora el efecto que causan estas partículas en la cámara de trituración de estos equipos. Los tamaños máximos en la salida de ambos equipos difieren un poco, debido a la diferencia que existe entre el tipo de forro y el desgaste de los mismos. La curva granulométrica seleccionada en el catálogo del fabricante, es la que corresponde al tamaño máximo de partícula con la salida abierta (173 mm). Según el fabricante la producción de finos de este equipo bajo esta configuración es

de aproximadamente 4 %, valor que es inferior al porcentaje real obtenido con el tamizado de las muestras (9,52 %).

Grafico N° 7. Distribución granulométrica del triturador primario de Planta 2



- **Trituradora de impacto**

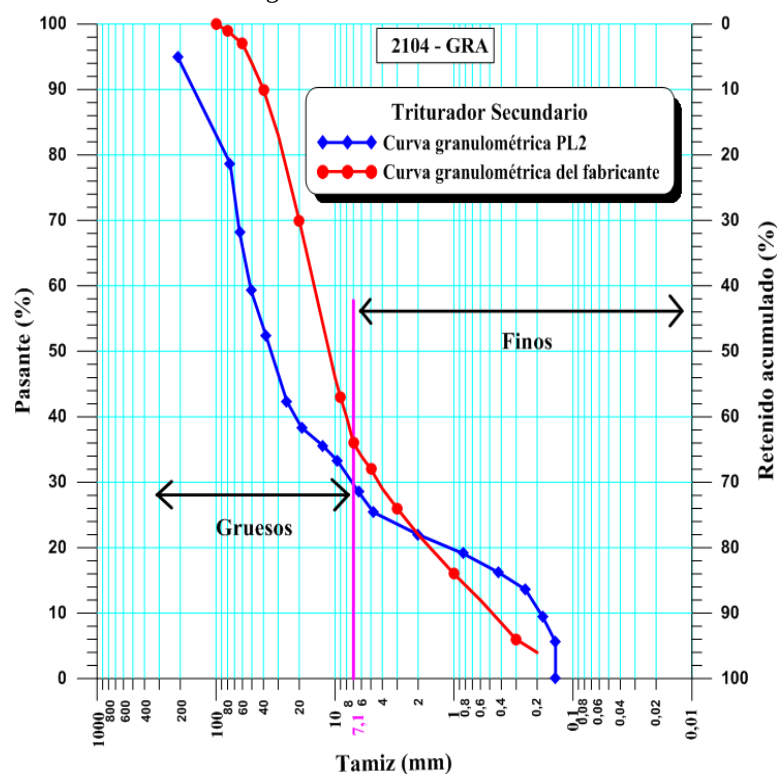
Planta 2 dispone de una trituradora de impacto, la cual presenta una producción de finos del 20,51 % (ver tabla N° 26). Según el fabricante del equipo (XCMG), la producción de finos (partículas inferiores a 7,1 mm) representa el 36 % de la distribución granulométrica de salida para dichas capacidades y dimensiones (ver tabla N°6, capítulo II) cuando estos son alimentados con materiales blandos. Por lo tanto, dicho resultado se encuentra por debajo de los valores normales establecidos por el fabricante.

Tabla N° 26. Porcentaje de finos generados por el triturador secundario de Planta 2

Trituradora de Impacto XCMG	% Finos en la entrada	% Finos en la salida	% Finos generados
	9,52	30,03	20,51

El comportamiento de la curva granulométrica del triturador secundario de Planta 2 tal y como se observada en el grafico N° 8, nos indica que la gradación de tamaños es característico de un material bien graduado (distinta variación de tamaño de partícula) de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC-32. La tendencia de ambas curvas es similar hasta el tamiz de abertura cuadrada igual a 10 mm, posterior a dicha abertura las curvas presentan un comportamiento donde la curva real del equipo superpone a la del fabricante, lo que indica que el acumulado de las partículas retenidas entre los tamices de abertura cuadrada igual a 0,2 y 2 mm en la curva granulométrica real es mayores al del fabricante. Proporción que no altera el análisis realizado anteriormente.

Grafico N° 8. Distribución granulométrica del triturador secundario de Planta 2



- **Trituradora de cono**

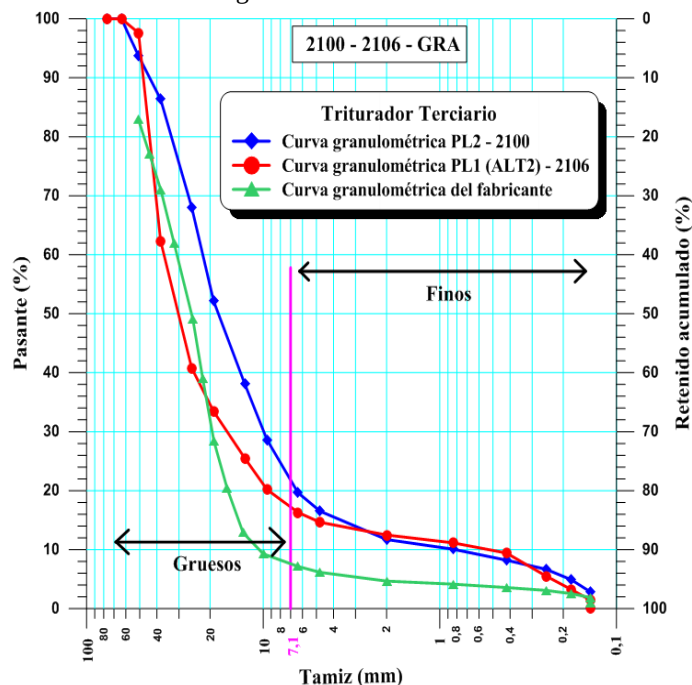
De acuerdo a la tabla N° 27 la trituradora de cono de Planta 2 presenta una producción de finos igual a 12,15 %.

Tabla N° 27. Porcentaje de finos generados por el triturador terciario de Planta 2

Trituradora de Cono XCMG	% Finos en la entrada	% Finos en la salida	% Finos generados
	16,48	28,63	12,15

Según el grafico N° 9, la trituradora de cono de Planta 2 presenta un comportamiento granulométrico similar a la trituradora de cono de Planta 1, bajo la configuración de alimentación tipo 2 (AT2). Esto se debe a que el material que entra a ambos equipos posee mayor cantidad de partículas de mármol que de esquisto, aunque la Planta 2 haya sido alimentada con el material proveniente de la voladura (AT1, partículas de mármol y esquisto).

Grafico N° 9. Distribución granulométrica del triturador terciario de Planta 2



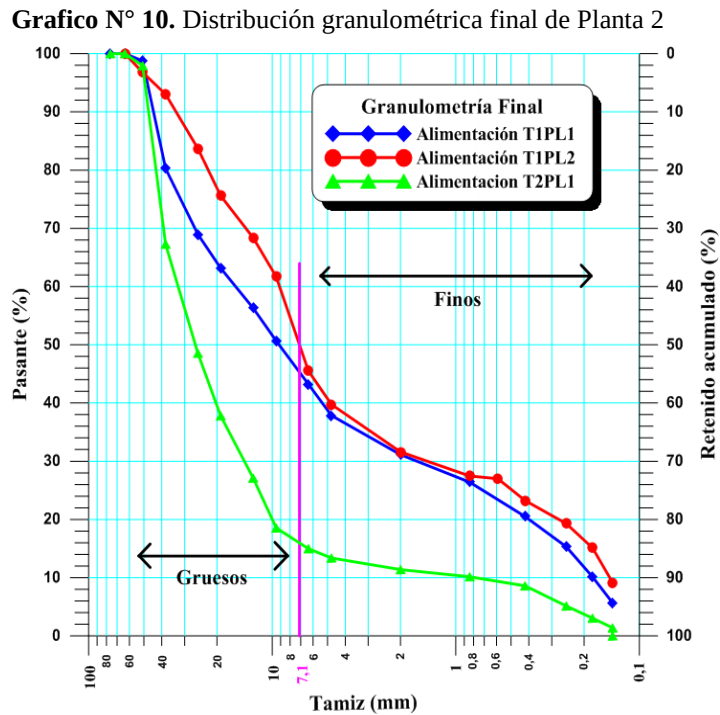
Este comportamiento ocurre debido a que la criba 1 de PL2 separa las partículas finas provenientes de la destrucción parcial del esquisto dentro del impactor, dejando

que solo las partículas de mármol y una porción de las partículas de esquistos que no fueron alcanzadas por los martillos de la trituradora de impacto, entren a la cámara de trituración del cono. Es evidente que la resistencia de los materiales juega un papel importante en la distribución granulométrica de salida de los equipos de fragmentación.

La curva granulométrica seleccionada en el catálogo del fabricante es aquella que corresponde al máximo tamaño nominal del agregado grueso de menor tamaño (Arrocillo, 5/8”), la misma es aproximada, ya que puede variar según el tipo de material; por lo que difiere de la obtenida en campo. La curva del fabricante sugiere una producción de finos (partículas menores a 7,1 mm) de 8,29 %, encontrándose una discrepancia del 3,86% por debajo respecto a la obtenida con el estudio.

Granulometría final de Planta 1

El comportamiento granulométrico de cada equipo de disminución de tamaño se ve reflejado a su vez en la curva granulométrica final de la planta:



La granulometría final de Planta 2, presenta una gradación de tamaños característico de un material bien graduado tal y como se puede observar en el gráfico N° 10, a su vez, un análisis comparativo de las curvas granulométricas finales de Planta 1 bajo ambos tipos de alimentación respecto a la de Planta 2, demuestra que la alimentación T1 causa un comportamiento similar en la distribución granulométrica final de ambas plantas, siendo la alimentación T2 la que se defusa considerablemente respecto a las dos anteriores ya que es la que causa menor producción de finos dentro de los equipos de fragmentación.

En la Figura N°39 se resumen los resultados correspondientes a la identificación de puntos críticos de Planta 2.

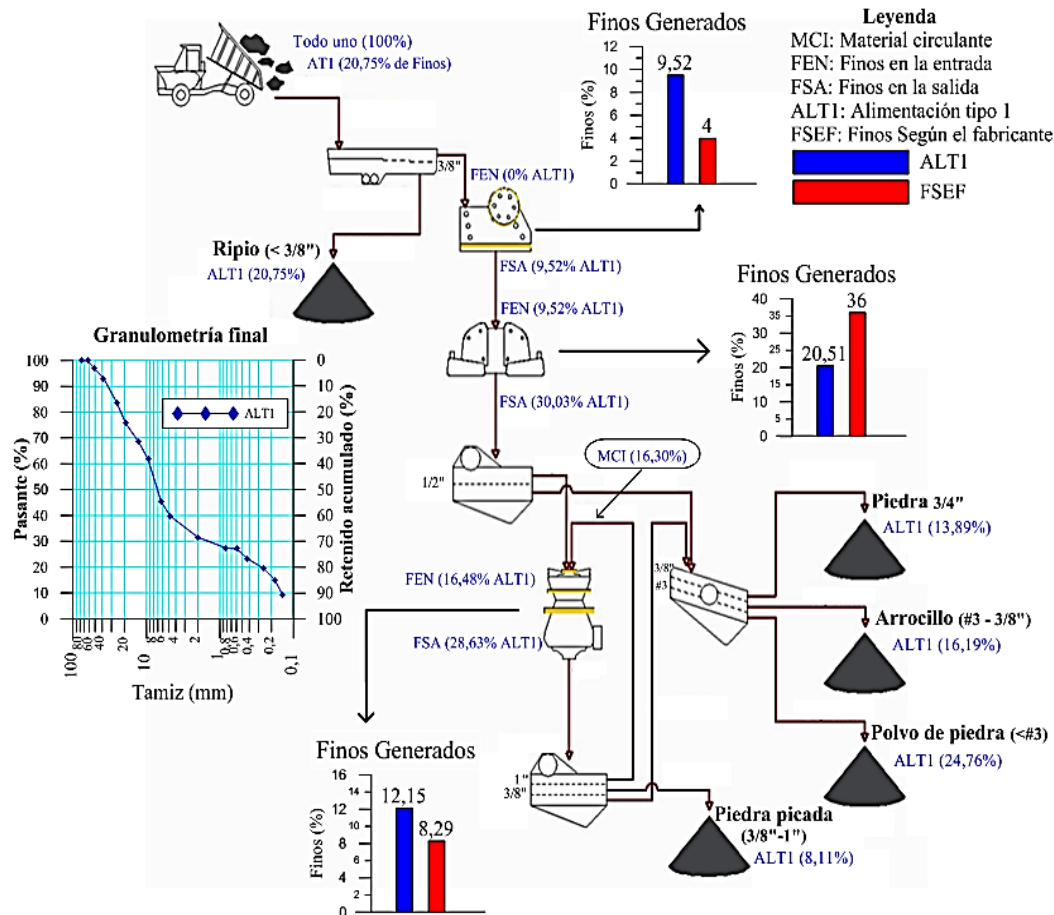


Figura N°39. Puntos críticos de generación de finos en Planta 2

El equipo que genera mayor cantidad de finos (partículas menores a 7,1 mm) dentro de la operación de fragmentación de Planta 2, es la trituradora de impacto XCMG, presentando una producción de finos de 20,51 %, material que representa un producto de la planta (polvo de piedra), en conjunto con los finos generados por la trituradora de cono tras la obtención de la piedra $\frac{3}{4}$ ".

Según *Cathay Chusher industrial Group*, Estos equipos de fragmentación por percusión, son utilizados en los circuitos de las plantas de agregados para mejorar la cubicidad del material, sin embargo la velocidad angular de los martillos al estar diseñada para un material (balasto) de mayor dureza que el esquisto (mayor resistencia a la compresión y a la tracción), se genera la sobretrituración del mismo contra las planchas del equipo; obteniéndose la cubicidad deseada solo en las partículas de mármol.

En la tabla N° 28 se muestra de forma global, la producción de partículas gruesas y finas, dentro y fuera de las operaciones de cada una de las plantas de la cantera "Carayaca"

Tabla N° 28. Distribución porcentual de los finos generados dentro y fuera de las operaciones de plata

PLANTA	Tipo de Alimentación	(%) de partículas producidas por los equipos de fragmentación		(%) Finos producidos por la voladura (<7,1mm)
		Partículas gruesas (>7,1 mm)	Partículas finas (< 7,1 mm)	
PL1 (Carayaca)	T1 (Material con finos)	49,33	29,92	20,75
	T2 (Material sin finos)	81,45	18,55	
PL2 (Tren Chino)	T1 (Material con finos)	54,49	24,76	

Dentro de las operaciones de planta, los equipos de fragmentación de Planta 1 producen un 29,92 % de partículas finas, superando en un 9% a los finos que se generan en la fragmentación por voladura, mientras que los equipos de fragmentación de Planta 2 producen un 24,76 % de estas partículas, las cuales difieren en un 4,01 %

respecto a los finos de la voladura (ver tabla N° 28). Por ende, en las operaciones de fragmentación del material, Planta 1 es la que más produce partículas finas.

6.4 Comportamiento del material ante el cribado

Los resultados que son presentados a continuación fueron obtenidos a través de la ejecución del ensayo de los ángeles sobre dos muestras de gradación tipo A según la norma COVENIN 266 (1978). Estos resultados permitieron establecer una hipótesis acerca del comportamiento que podría presentar el agregado al entrar en contacto con elementos de desgaste como los paños de las cribas.

En la tabla N° 29, correspondiente al porcentaje de desgaste de las muestras, se observa una pérdida de masa de 46,5 % correspondiente a los fragmentos de esquisto; este valor era de esperarse debido a la baja resistencia a la compresión y a la tracción que posee la roca (ver tabla N° 18), no obstante, los fragmentos de mármol presentaron un valor de 34,4 % de desgaste, el cual difiere en un 12 % al de las partículas de esquisto.

Tabla N° 29. Porcentaje de desgaste de las dos litologías presentes en la cantera “Carayaca”

Muestra	Masa inicial de la muestra (g)	Masa final de la muestra (g)	Pérdida de masa de la muestra (%)
(2245_ANG) Fragmentos de Esquisto	5.000	2.675	46,5
(2246_ANG) Fragmentos de Mármol	5.000	3.230	34,4

Estudios realizados por Gutiérrez (2015), demuestran que mientras mayor es el valor de RCS menor es el porcentaje de desgaste del material; si relacionamos lo dicho por Gutiérrez con los resultados obtenidos tras las muestras ensayadas (2245 y 2246), el material con menor resistencia a la compresión simple (RCS) posee mayor porcentaje de desgaste (ver tabla N° 30).

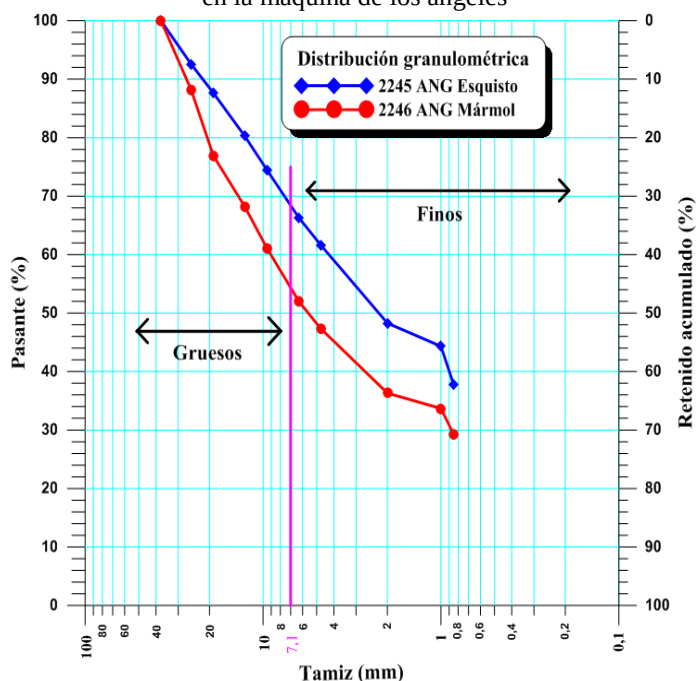
Tabla N° 30. Resistencia a la compresión simple frente al índice de desgaste de los ángeles

Muestra	Perdida de masa de la muestra (%)	Resistencia a la compresión (MPa)
(2245_ANG) Fragmentos de Esquisto	46,5	16,31
(2246_ANG) Fragmentos de Mármol	34,4	81,47

Si bien el estudio de Gutiérrez fue realizado sobre rocas Ígneas, el comportamiento es similar en rocas metamórficas. Estos resultados nos proporcionan información cualitativa respecto a las características resistentes del agregado ante cualquier acción mecánica de desgaste, bien sea la que ejerce la malla de clasificación de una criba o los forros de un equipo de fragmentación.

De acuerdo al grafico N° 11, ambas muestras presentan una distribución de partículas con una graduación continua de tamaños, con una tendencia similar de inicio a fin pero desfasadas una respecto a la otra debido a los índices de desgaste que presento cada una.

Grafico N° 11. Distribución granulométrica final de las muestras ensayadas en la máquina de los ángeles



De acuerdo a la clasificación de Zingg (1935), las partículas de esquistos poseen una morfometría **LAMINAR** (la relación b/a y c/b fue menor a $2/3$), mientras que las partículas de mármol presentan una forma de tipo **TABULAR U OBLADA** (la relación b/a fue mayor a $2/3$ y la relación c/b fue menor a $2/3$), tal y como se observa en la Figura N° 40, correspondiente a la calidad de las muestras antes de ser sometidas al ensayo de los ángeles.



Figura N°40. Muestras ya clasificadas de acuerdo a la gradación Tipo A de la norma COVENIN 267-78

De acuerdo a las tablas de comparación visual de Powers (1982), las partículas de ambas muestras son de tipo **ANGULOSAS Y DE BAJA ESFERICIDAD**, no obstante, después de ser sometidas al ensayo de los ángeles muchas de las partículas fueron pulverizadas mientras que otras sufrieron desgastes en cada uno de sus vértices (ver Figura N° 41).

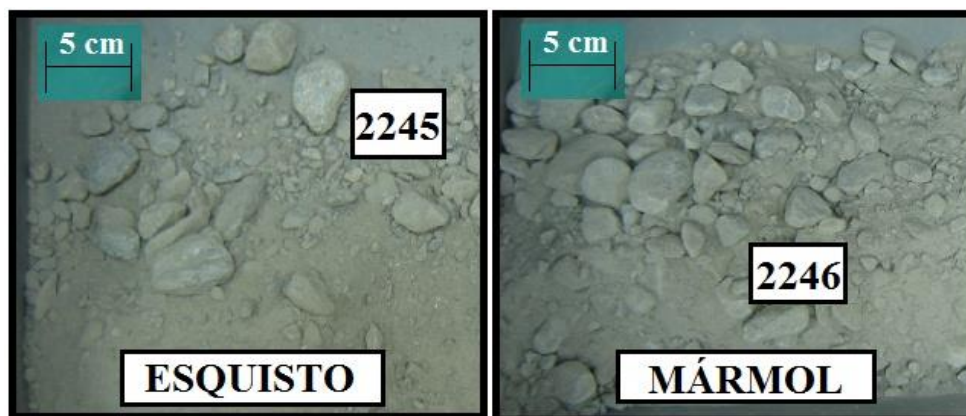


Figura N°41. Muestras después del ensayo de los ángeles

En la Figura N° 41 correspondiente a la calidad de las muestras posterior al ensayo de los ángeles, se observa una distribución morfométrica de partículas en ambas muestras de tipo **SUB-REDONDEADAS Y DE BAJA ESFERICIDAD**, este patrón de desgaste se presenta con mayor frecuencia en las partículas de esquisto dentro de las operaciones de cribado y en las de fragmentación (ver Figura N° 42).



Figura N°42. Desgaste del material causado por los paños de las cribas

Dadas las características de desgaste que posee el esquisto, es posible afirmar que esta es la roca responsable de la producción de finos dentro de los equipos de clasificación y en las demás operaciones en las que las partículas entren en contacto con mecanismos de desgaste o impacto.

CAPITULO VII

PROPUESTAS DE ADECUACIÓN

Una vez identificado los puntos críticos de generación de finos dentro de las operaciones de cada una de las plantas, se presentan a continuación las propuestas desarrolladas:

Planta 1

La producción de partículas finas dentro de las operaciones de fragmentación de Planta 1, puede ser disminuida de dos formas:

1. Mediante la instalación de un “**Alimentador vibratorio tipo Grizzly**” con una capacidad acorde al flujo de alimentación y a la máxima capacidad de la tolva de entrada de esta planta ($62\text{-}75\text{ m}^3$), no obstante, su área de superficie irá acorde a las dimensiones de la tolva en su geometría inferior ($4,65\text{ m}$ de largo y $1,10\text{ m}$ de ancho). este equipo efectuara una clasificación dimensional entre las partículas gruesas y finas del todo-uno, dejando entrar al circuito solo fragmentos de rocas mayores a $7,1\text{ mm}$ logrando disminuir la producción de finos en un $12,39\%$. Un ejemplo de este equipo es el que se muestra en la Figura N°43.



Figura N°43. Alimentador vibratorio tipo Grizzly. Tomado de: *Direct industry*

2. A través de la conformación de una “**Pila pulmón**” que disponga de una cantidad menor de finos y un mayor número de fragmentos de mármol con una dimensión comprendida entre el tamaño máximo de admisión del

tritador primario y el reglaje de salida de este equipo (650-200 mm). En la Figura N°44 se muestra la distribución de tamaño de los fragmentos de roca que integrarían la pila pulmón.

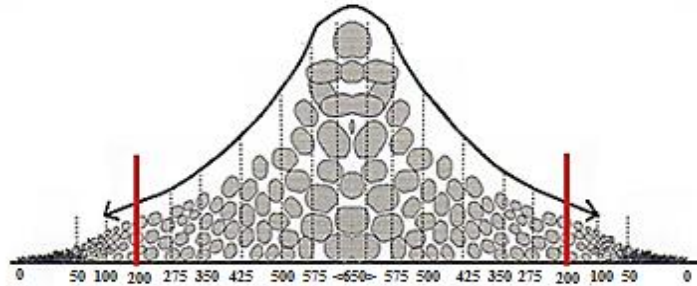


Figura N°44. Distribución de tamaños de los fragmentos de roca en la pila pulmón

Para garantizar un flujo de alimentación constante de esta planta la pila pulmón estará ubicada en la terraza de acceso a la tolva de entrada al circuito, no obstante, los fragmentos de esquistos que no estén destinados a la alimentación de las plantas podrán ser vendidos como peñas para rompeolas.

Para facilitar la separación de los fragmentos de roca de las partículas finas de forma directa durante los ciclos de selección de material para la pila pulmón, se propone además la adquisición o fabricación de un balde rastrillo con una abertura igual a 200 mm, esta herramienta podrá ser instalada en el brazo de cualquiera de los cargadores frontales que dispone la cantera. Un ejemplo de este balde es el mostrado en la Figura N°45.



Figura N°45. Balde rastrillo de 3 Ton para cargadores frontales. Tomado de: *Shandong Lishide Construction Machinery Import and Export Co., Ltd.*

De esta manera se estaría garantizando un material de alimentación con las mismas características de la AT2 y se podrían obtener las siguientes mejoras:

Tabla N° 31. Mejoras obtenidas con la alimentación tipo 2

Material		Intervalo de tamaño (N°)	ALT1 (%)	ALT2 (%)	Total tipo de agregado		Diferencia (%)		
					ALT 1 (%)	ALT2 (%)	Por Material	Por tipo de Agregado	
Grueso	Piedra picada		5/8" - 1 1/4"	17,1	29,48	49,33	81,44	12,38	32,11
	Arrocillo		# 3 - 5/8"	12,5	19,24			6,74	
	Circulante		> 1 1/4"	19,73	32,72			12,99	
Fino	Ripio	Finos de la voladura	< 1/4"	20,75	0	50,67	18,56	20,75	-11,36
		FSA-TM	< 3/8"	12,39	7			-5,39	
	Polvo de piedra		< #3	17,53	11,56			-5,97	
	Balance de masa total (%)			100	100			100	

En la tabla N° 31 se observa un aumento en la producción de agregado grueso de 32,11 % y una disminución en la producción de finos de 11,36 %. Ambas propuestas han sido desarrolladas tomando en cuenta la disminución en la producción de finos que se obtuvo en los equipos de fragmentación de Planta 1, cuando la misma fue alimentada con un material de alimentación del tipo 2.

Planta 2

Para disminuir la producción de partículas finas de Planta 2, **se propone desincorporar del circuito a la trituradora de impacto XCMG**, ya que la misma es responsable del 48 % de la producción total de partículas finas dentro de la misma.

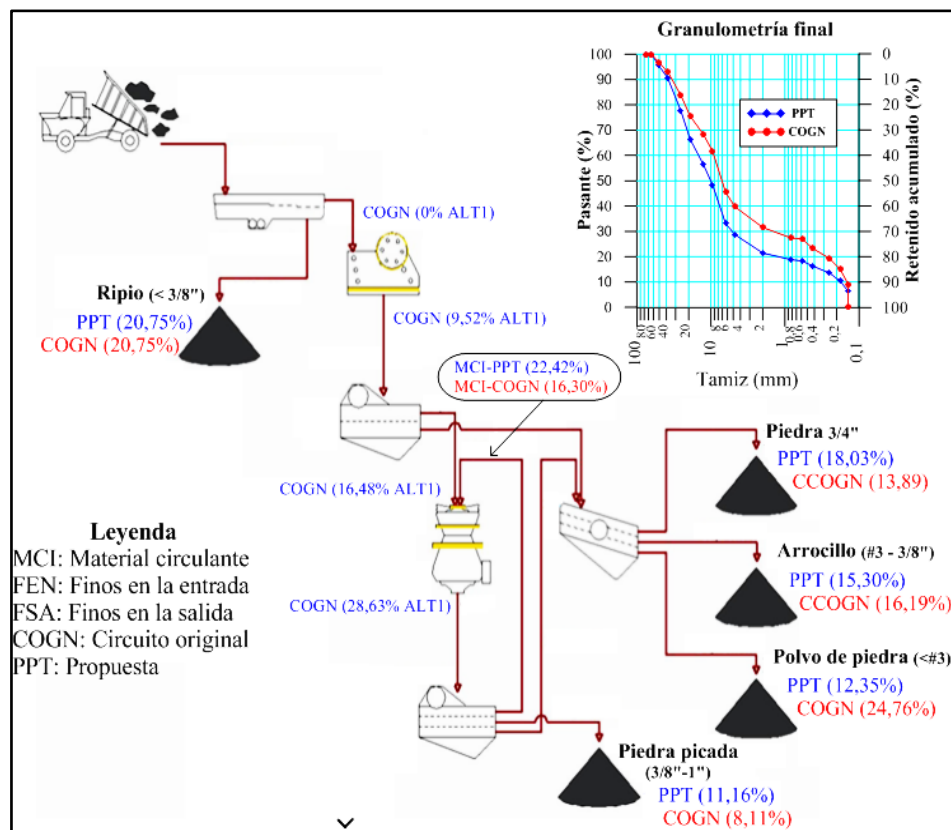
Un análisis realizado a la nueva configuración que tendrá el circuito sin la trituradora de impacto arroja los siguientes balances de masa en los productos de salida:

Tabla N° 32. Posibles mejoras tras la aplicación de la propuesta.

Material		Intervalo de tamaño (N°)	Circuito original (%)	Propuesta (%)	Total tipo de agregado		Diferencia (%)	
					Circuito original (%)	Propuesta (%)	Por Material	Por tipo de Agregado
Grueso	Piedra picada	3/4" - 1"	8,11	11,16	54,49	66,90	3,05	12,42
	Piedra 3/4"	3/8" - 1/2"	13,89	18,03			4,14	
	Arrocillo	# 3 - 3/8"	16,19	15,30			-0,90	
	Circulante	> 1"	16,30	22,42			6,13	
Fino	Ripio	< 3/8"	20,75	20,75	45,51	33,10	20,75	-12,41
	Polvo de piedra	< #3	24,76	12,35			-12,41	
Balance de masa total (%)			100,00	100,00	100,00	100,00		

En la tabla N° 32 se observa una disminución en la producción del agregado fino de 12,41 % y un aumento en la producción de agregado grueso de 12,42 %, estos valores son obtenidos en función de las granulometrías de salida de cada equipo de fragmentación y la del todo uno de alimentación, por ende, estos valores pueden variar favorablemente siempre que esta planta sea alimentada con un material con la misma configuración que el de la pila pulmón propuesta para la Planta 1. En la Figura N°41 se presenta de forma gráfica la modificación propuesta para el circuito de planta dos, en el mismo se señalan los balances de masas del circuito original bajo la alimentación tipo 1 y los correspondientes a la propuesta antes mencionada.

Figura N°46. Flujograma desarrollado en función de la propuesta



De acuerdo al ajuste que posee la trituradora de conos, el tamaño máximo de admisión de este equipo ronda los 600 mm, dimensión que es superior al fragmento de mayor tamaño en la salida del triturador primario, por lo que dicha propuesta no altera el flujo de estrada y salida de los equipos que integran la planta.

CONCLUSIONES

- En términos generales las propiedades mecánicas del Mármol y el Esquisto presente en la Zona “A”, del macizo rocoso de la Cantara “Carayaca” corresponden a una roca moderadamente dura y de buena calidad. La roca descompuesta de la Zona “C” corresponde a un suelo de Clase S_4 para la cual se estima una resistencia a la compresión de $0,25 \text{ MPa}$. La valoración total de la calidad del macizo por el índice $\text{RMR}_{\text{básico}}$ de Bieniawski clasifica al macizo rocoso de la cantera en la categoría III, donde la calidad de este se considera normal con un ángulo de cohesión estimado de $200\text{-}300 \text{ KPa}$ y un ángulo de fricción de $25\text{-}35$ grados, no obstante, el criterio de rotura de Hoek-Braun le otorga una cohesión de $7,825 \text{ MPa}$ y ángulo de fricción de $42,67$ grados.
- Los valores de resistencia y las características estructurales que presentan los materiales rocosos que conforman el macizo intervienen en la calidad de la voladura, causando una distribución de partículas menores a $7,1 \text{ mm}$ igual a $20,75 \%$, y una cantidad de sobre tamaños que representa $31,83 \%$ de la distribución. Este porcentaje de partículas finas se encuentra fuera del intervalo promedio de finos ($0\text{-}10 \%$) que son manejados en el software de cálculo para voladura y en los ábacos tradicionales de calibración de plantas.
- Las partículas finas presentes en el material de voladura iMPactan directamente las operaciones de disminución de tamaño de Planta 1, siendo la distribución granulométrica del triturador primario la principal afectada. La producción de finos de este equipo disminuye un $11,36 \%$ cuando el todo uno de alimentación posee solo fragmentos de roca con una proporción mayor de fragmentos de mármol que de esquisto, no obstante, la producción de finos de la trituradora de cono disminuye un $9,35 \%$ bajo esta misma configuración de material de entrada (AT2).

- El equipo que produce más partículas finas dentro de las operaciones de fragmentación de Planta 1 es la trituradora de cono “SYMONS”, producción que representa el 17,53 % del total de los finos producidos por los equipos de fragmentación (29,92 %).
- El equipo que causa la mayor producción de finos en las operaciones de fragmentación de Planta 2 es la trituradora de “Impacto XCMG”, producción que representa el 14,36 % de los finos totales del agregado polvo de piedra (24,76 %).
- Los paños de las cribas causan un deterioro adicional al flujo de partículas en los circuitos. Las partículas al entrar en contacto con mecanismos de desgaste pasan de una forma angulosa a redondeada, esta última se presenta con mayor frecuencia en las partículas de esquisto. Dadas las características de desgaste de este material, es posible que la mayor parte de los finos que se generan en la etapa de clasificación este asociada al deterioro de las mismas.
- Entre las dos propuestas desarrolladas parara Planta 1 la que mejores resultados ofrece es la propuesta 2, la misma incluye la separación de partículas finas de la propuesta uno pero asegura una alimentación con mayor cantidad de fragmentos de mármol que de esquisto, obteniéndose un aumento de 32,12 % en la producción de agregado grueso y una disminución de 11,36 % en las partículas finas
- La propuesta de Plata 2 sugiere la desincorporación de la trituradora de impacto XCMG, asimismo se podrá obtener una aumento de 12,42 % en la producción de agregado grueso y una disminución de 12,41 % en las partículas finas.
- Con el presente trabajo se ha establecido las bases para el desarrollo de una metodología de diseño de plantas y así mismo una línea de investigación que le permitirá al Departamento de Minas, ofertar temas dirigidos a esta área.

RECOMENDACIONES

En función de los análisis y conclusiones realizados se presentan las siguientes recomendaciones:

- El valor promedio de resistencia a la compresión simple del macizo fue obtenido tras un número mínimo de muestras ensayadas (6 muestras), a causa del uso de los laboratorios y los costos asociados a la preparación de las muestras, por lo que se recomienda aumentar el número de ensayos para mejorar la precisión de dicho valor. Así mismo, para tener un mejor ajuste de la envolvente de falla del macizo será necesario realizar ensayos triaxiales.
- Tomando en cuenta que el agregado fino posee una demanda muy baja por parte de la industria de la construcción de obras civiles, representa un material con potencial de daño para el ambiente, se recomienda realizar mejoras a los parámetros de diseño de la voladura para disminuir la generación de finos, directamente desde la primera etapa de fragmentación del material, tomando como punto de partida el estudio realizado sobre el macizo rocoso de la cantera.
- Los resultados obtenidos tras el análisis comparativo del desgaste de las partículas en el ensayo de los ángeles, y las causadas por los paños de las cribas es netamente hipotético, por lo que se recomienda realizar un análisis de la morfometría de las partículas antes y después de las operaciones de cribado, para evaluar de manera más precisa este comportamiento.
- Para mejorar la eficiencia en la fragmentación del triturador primario de planta uno se recomienda realizar la sustitución de los forros, los cuales presentan un desgaste muy pronunciado.
- Para evaluar qué proporción mármol-esquisto es la adecuada para seguir obteniendo resultados granulométricos favorables en los equipos de fragmentación de las plantas, se recomienda realizar un estudio similar al realizado en el presente trabajo.

- Para mejorar los niveles de producción de Planta 2 se recomienda adecuar los equipos de la operación de arranque.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Abril, E. (2010). *Cátedra de Geotecnia I, Macizos rocosos*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- ASTM. (1995). *Análisis granulométrico por tamizado*. Washington D.C.
- ASTM. (2002). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens*.
- ASTM. (2008). *Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens under Constant Normal Force*. Washington, D.C.
- ASTM. (2010). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens*. Washington, D.C.
- Blanco, R. (2013). *Curso de graduación: Diseño y construcción de obras de minería. Cátedra: Propiedades de las rocas y del macizo rocoso*. Cuenca Ecuador : Universidad de Cuenca.
- Bongiorno, F. &. (2012). *Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski. Barton. Hoek y Brown. Romana*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes.
- Castilejo, M. (1993). *Análisis Comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control. Parte 2*. Caracas.
- Concha A., A. L. (1994). *Diseño y simulación de circuitos de fragmentación y clasificación*. USA: Pennsylvania State University.
- COVENIN. (1978). *Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste, en agregados por medio de la máquina de los ángeles*. Caracas, Venezuela: Fondonorma .
- Cruz, G. (2009). *Mecánica de suelos I*. Colombia: Universidad de Cauca.
- Dengo, G. (1951). *Geología de la región de Caracas*. Caracas: Bol. Geol.
- Donovan, J. D. (2003). *Fracture Toughness based Models for the prediction of power consumption, Product size, and capacity of jaw crushers*. Blacksburg.
- Erinova, M. Z. (2012). *Proyecto de una planta de Trituración para cantera de caliza*. Provincia de Lugo España.

- Gavidia W. y Pimentel R. (2014). *Diagnóstico de las plantas de agregados de la Cantera Carayaca para conocer las especificaciones técnicas y de producción. Período Julio-Septiembre de 2014*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Gonzalez de vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educacional.
- Gramberg, J. (1989). *A Non-Conventional View on Rock Mechanics and Fracture Mechanics*. Georgia: Institute of Technology.
- Gutiérrez, H. (2015). *Resistencia a la fragmentación de rocas volcánicas como áridos para hormigones y asfaltos*. Santa Cruz de Tenerife, España: Universidad de La Laguna.
- ICONTEC. (1995). *Práctica para la reducción del tamaño de las Muestras de agregados, tomadas en campo, para la realización de ensayos, Norma técnica Colombiana , (NTC 3674)*. Bogotá, Colombia.
- ICONTEC. (1995). *Práctica para la toma de muestras de agregados, Norma técnica Colombiana (NTC 129)*. Bogotá, Colombia.
- INEN. (2010). *Muestreo de áridos, Norma técnica ecuatoriana (NTE 695)*. Quito, Ecuador.
- Konya, k. (1990). *Diseño de plantillas de barrenación en voladuras*.
- Krumbein, W. S. (1963). *Stratigraphy and Sedimentation, Second ed*. San Francisco: W.H. Freeman and Company.
- Materials, A. S. (1996). *Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de*. Washington, DC.
- Mc Dowell, G. (1999). *Micromechanics of clastic soil. Proceedings of the International Workshop on Soil Crushability. Ube, Yamaguchi*. Japan.
- Navarro, E. M. (1988). *Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte Norte-central de Venezuela durante el Jurásico medio-Paleógeno*. Caracas: Acta Científica Venezolana.
- Ostos, E. N. (1987). *Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte Norte - Central de*

Venezuela durante el Jurásico Medio - Paleógeno. Caracas: Acta Científica Venezolana.

Perri, G. (1998). *características de resistencia de los macizos rocosos y uso del GSI para evaluar las cargas sobre el soporte de túneles poco profundos excavados en rocas*. Caracas: Universida Central de Venezuela.

Roberto H., y. O. (2003). *Metodología de la investigación*. México: Infagon Web, S.A.

Taggart, A. F. (1945). *Handbook of Mineral Dressing*. New York: John Wiley and Sons.

Urbani, F. y. (1989). *El Complejo Avila, Cordillera de la Costa*. Caracas: Geos, UCV.

VARCAM, C.A . (2015). *Estatutos legales y administrativos*. Vargas.

VARCAM, C.A. (2015). *Plan de explotación de la cantera “Tacagua”*. Vargas.

Vladimir, E. &. (2013). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la cantera de materiales de construcción “las Victorias”*. Cuenca, Ecuador.: Universidad de Cuenca.

Zagoya Armas, M. A. (2004). *Cartografia geologica estructural del Valle del Huizachal, como base para el analisis de estabilidad de taludes de la carretera Rumbo Nuevo, TAMPs., Mexico*. Tesis de Maestria, Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Facultad de Ciencias de la Tierra, Nuevo Leon.

ANEXOS

ANEXO A

1. Clasificación RMR de Beniaowski

Tabla A.1. Clasificación geomecánica RMR Beniaowski (1989)

PARÁMETRO			RANGO DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana (MPa)	Carga puntual	> 10	4 a 10	2 a 4	1 a 2	Preferible ver compr. Uniaxial		
		Compresión simple	> 250	100 a 250	50 a 100	25 a 50	5 a 25	1 a 5	<1
	VALORACIÓN (R_c)		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%) Rock Quality Designation		90 a 100	75 a 90	50 a 75	25 a 50	< 25		
	VALORACIÓN (R_{RQD})		20	17	13	8	3		
3	Separación entre diaclasas (m)		> 2.00	0.60 a 2.00	0.20 a 0.60	0.06 a 0.20	< 0.06		
	VALORACIÓN (R_d)		20	15	10	8	5		
4	Estado de las diaclasas		Muy rugosas Discontinuas Sin espacios Bordes sanos y duros	Ligeramente rugosas Aberturas de más de 1mm Bordes duros	Ligeramente rugosas Aberturas de más de 1mm Bordes blandos	Espejos de falla o Relleno < 5mm o Separación entre 1-5mm (Diaclasas continuas)	Relleno blando superior a 5mm o Abertura > 5mm (Diaclasas continuas)		
	VALORACIÓN (R_s)		30	25	20	10	0		
5	Agua freática en juntas		Seco	Algo húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	VALORACIÓN (R_u)		15	10	7	4	0		

Tabla A.2. Clasificación geomecánica RMR de Beniaowski (1989)

CLASE	I	II	III	IV	V
RMR	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 20
Descripción	Muy buena	Buena	Normal	Mala	Muy mala
Cohesión (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Rozamiento interno	> 45°	35 - 45°	25 - 35°	15 - 25°	< 15°
Estabilidad	Desliza 15 m. en 20 años	Desliza 10 m. en 1 años	Desliza 5 m. en 1 semana	Desliza 2.5 m. en 10 horas	Desliza 1 m. en 15 minutos

2. Características de las discontinuidades

Tabla A.3. Descripción del espaciado según el ISRM (1981)

Descripción	Espaciado
Extremadamente junto	< 20 mm
Muy junto	20 - 60 mm
Junto	60 - 200 mm
Moderadamente junto	200 - 600 mm
Separado	600 - 2000 mm
Muy separado	2000 - 6000 mm
Extremadamente separado	> 6000

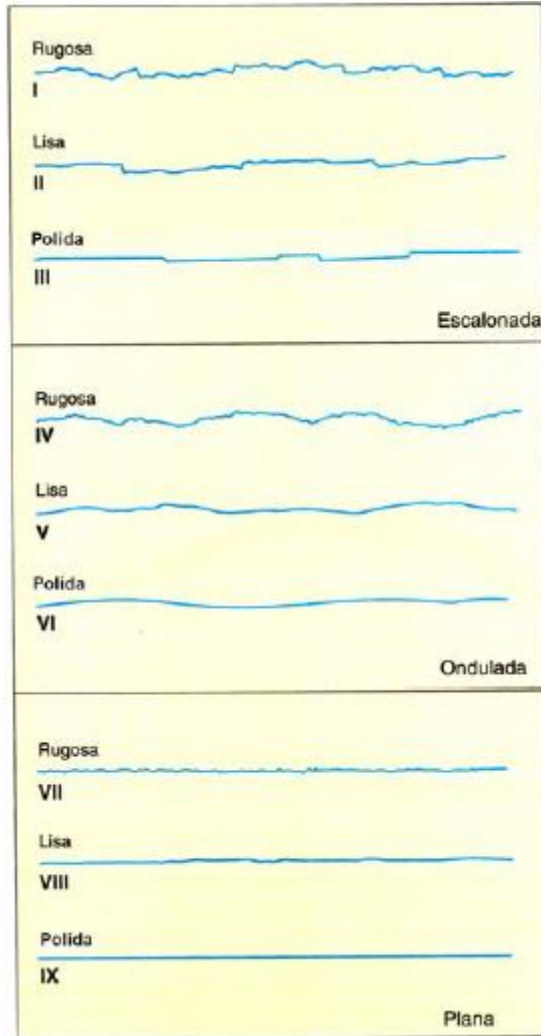
Tabla A.4. Descripción de la continuidad según el ISRM (1981)

Continuidad	Longitud
Muy baja	< 1 m
Baja	1 - 3 m
Media	3 - 10 m
Alta	10 - 20 m
Muy alta	> 20 m

Tabla A.5. Descripción de la abertura según el ISRM (1981)

Descripción	Separación
Abierta	> 5 mm
Moderadamente abierta	1 - 5 mm
Cerrada	0,1 - 1 mm
Muy cerrada	< 0,1 mm
Ninguna	0

Figura A.1. Perfil de rugosidad según el ISRM (1981)



3. Calidad de la roca

Tabla A.6. Tabla de índice de campo para suelo según el ISRM (1981)

Clase	Descripción	Identificación en campo	Mpa
S1	Muy blanda	El puno penetra fácilmente varios cm	< 0,025
S2	Débil	El dedo penetra fácilmente varios cm	0,025 - 0,05
S3	Firme	Se necesita apretar para hincar el dedo	0,05 - 0,1
S4	Rígida	Se debe apretar con fuerza para hincar el dedo	0,1 - 0,25
S5	Muy rígida	Se marca con la una	0,25 - 0,5
S6	Dura	Se marca con dificultad con la una	> 0,5

Tabla A.7. Resistencia de la roca sana según el ISRM (1981)

Descripción	Resistencia a la compresión simple (Mpa)
Extremadamente dura	> 250
Muy dura	100 - 250
Dura	50 - 100
Moderadamente Dura	25 - 50
Blanda	5 - 25
Muy blanda	1 - 5

4. Grado de fracturación

Tabla A.8. Descripción del tamaño promedio de bloque en función del número de discontinuidades según el ISRM (1981)

Descripción	JV (discontinuidades/m3)
Bloques muy grandes	< 1
Bloques grandes	1 - 3
Bloques de tamaño medio	3 - 10
Bloques pequeños	10 - 30
Bloques muy pequeños	> 30

5. Guía para la valoración de las discontinuidades

Tabla A.9. Valoración de las características de las discontinuidades Beniaowski (1989)

GUÍAS PARA LA CLASIFICACIÓN SEGÚN LAS CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES					
Longitud (Persistencia)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Puntaje	6	4	2	1	0
Separación (abertura)	Ninguna	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Puntaje	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Lisa	Superficies pulidas
Puntaje	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Duro < 5 mm	Duro > 5 mm	Blando < 5 mm	Blando > 5 mm
Puntaje	6	4	2	2	0
Meteorización	Inalterada	Ligeramente meteorizada	Moderadamente meteorizada	Altamente meteorizada	Descompuesta
Puntaje	6	5	3	1	0

6. Metodología del ensayo de los ángeles según la norma COVENIN 266-1977

Para la ejecución de este ensayo se usa la máquina de abrasión de los ángeles bajo las siguientes características y forma de uso:

- Cilindro hueco de acero cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de 71,1 cm (28”) y un largo interno de 50,8 cm (20”).
- El cilindro debe tener una abertura para introducir la muestra a ensayar, así como una tapa adecuada a prueba de polvo, para cubrir la abertura y con medios para poder fijarla en su sitio.
- La tapa debe estar diseñada que mantenga el contorno cilíndrico de la superficie interior, a menos que la paleta este situada de forma tal, que la carga no caiga sobre la tapa o la toque durante el ensayo. Las paletas deben estar fabricadas de un material resistente a la abrasión para que las muestras obtenidas con el ensayo no queden contaminadas.
- La carga abrasiva en el interior de la máquina son esferas de acero, de aproximadamente 4,7 cm de diámetro y cada una con un peso entre 300 y 445 g.
- De acuerdo con la gradación de la muestra, el número de esferas variará según la siguiente tabla:

Tabla A.10. Peso de la carga abrasiva según el tipo de gradación adoptado

Gradación	Numero de	Peso de la carga
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

- El material a ensayar consiste en una muestra representativa de agregado limpio que ha sido secado en un horno a una temperatura comprendida entre 105 y 100 °C hasta un peso aproximadamente constante el cual debe cumplir con una de las gradaciones indicadas en la siguiente tabla:

Tabla A.11. Peso de los tamaños indicados según cada tipo de gradación

Tamaño del cedazo		Peso de los tamaños indicados			
Pasa	Retenido en	A	B	C	D
38,1 mm (1 ^{1/2} "	25,4 mm (1"	1250 ± 25			
25,4 mm (1"	19,0 mm (3/4"	1250 ± 25			
19,0 mm (3/4"	12,7 mm (1/2"	1250 ± 25	2500± 25		
12,7 mm (1/2"	9,51 mm (3/8"	1250 ± 25	2500± 25		
9,51 mm (3/8"	6,35 mm (1/4"			2500± 25	
6,35 mm (1/4"	4,76 mm (#4)			2500± 25	
4,76 mm (#4)	2,38 mm (#8)				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

- Antes de realizar el ensayo se anota el peso de la muestra con aproximación de 1 g.
- Se coloca la muestra de ensayo y la carga abrasiva en la máquina de los ángeles y se hace rotar el tambor a una velocidad de 30 a 33 rpm durante 500 resoluciones.
- La máquina se acciona y debe estar equilibrada de manera tal que mantenga una velocidad periférica sustancialmente uniforme.
- Después del número de revoluciones prescritas, se descarga el material y se hace una separación preliminar de la muestra, en un cedazo más grueso que el de 1,68 mm (#12) luego se carne la porción más fina en un cedazo de 1,68 mm (#12) y cualquier otra tamiz inferior a esta medida.
- La diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra de ensayo se expresa como porcentaje del peso original. Este valor se toma como porcentaje de desgaste.

ANEXO B
REPORTES