

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DE PATRONES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA, PARA NORMALIZAR LA FRAGMENTACIÓN DEL MATERIAL RESULTANTE DE LA MINA CHOCO 10 EMPRESA PMG S. A. EL CALLAO, ESTADO BOLIVAR**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Artigas Z., María T.  
Para optar al Título  
De Ingeniero de Minas

Caracas, 2011

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DE PATRONES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA, PARA NORMALIZAR LA FRAGMENTACIÓN DEL MATERIAL RESULTANTE DE LA MINA CHOCO 10 EMPRESA PMG S. A. EL CALLAO, ESTADO BOLIVAR**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. José L. Contreras  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Hildemaro Méndez

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Artigas Z., María T.  
Para optar al Título  
De Ingeniero de Minas

Caracas, 2011

Caracas, 8 de abril de 2011

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller María T. Artigas Z., titulado:

**“DISEÑO DE PATRONES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA, PARA  
NORMALIZAR LA FRAGMENTACIÓN DEL MATERIAL  
RESULTANTE DE LA MINA CHOCO 10 EMPRESA PMG S. A.  
EL CALLAO, ESTADO BOLIVAR”**

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

Prof. Omar Márquez  
Jurado

Prof. Pietro De Marco  
Jurado

Prof. José L. Contreras  
Tutor Académico

Ing. Hildemaro Méndez  
Tutor Industrial

**DISEÑO DE PATRONES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA, PARA  
NORMALIZAR LA FRAGMENTACIÓN DEL MATERIAL  
RESULTANTE DE LA MINA CHOCO 10 EMPRESA PMG S. A.  
EL CALLAO, ESTADO BOLIVAR**

**Tutor Académico: Prof. José L. Contreras Tutor Industrial: Ing. Hildemaro Méndez  
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y  
Geofísica. Año 2011, XX p.**

**Palabras Claves:** Estado Bolívar, Perforación, Voladuras (minería), Oro, Mina Choco 10 –  
Edo Bolívar, Explosivos.

**Resumen.** El siguiente trabajo expone una propuesta para el diseño de los patrones de perforación y voladura que normalicen la fragmentación del material que actualmente es extraído en la Mina Choco 10, ubicada en el Municipio El Callao, Estado Bolívar.

Mediantes cálculos teóricos realizados y la evaluación de la fragmentación obtenidas en las voladuras ejecutadas en el mineral además, del modelamiento de la fragmentación, a través del Kuz Ram para la proyección de la granulometría del material con distintas mallas de perforación.

Manteniendo los factores de carga constante se planteó el reacomodo de la geometría de las mallas de perforación de manera de minimizar el área de menor influencia del explosivo y hacer más eficiente la fragmentación del material, además de estimar si es rentable este reacomodo para su aplicación.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Central de Venezuela, por haberme dado la oportunidad de convertirme en un profesional, a la Facultad de Ingeniería, al Departamento de Minas y a todas las personas que lo conforman. A mi tutor Académico Prof. José Luis Contreras y a mi Tutor Industrial Ing. Hildemaro Méndez por haberme asesorado durante la realización de este trabajo y dado la oportunidad de realizar este trabajo.

A la Empresa Promotora Minera de Guayana por permitirme la realizar de este trabajo, también a la Empresa Codaven por apoyarme y asesorarme, a los integrantes de los Departamentos de Topografía y Perforación y Voladura, que me prestaron su apoyo cada vez que necesite su ayuda.

A mis familiares que siempre me ayudaron, me apoyaron durante la realización de este trabajo, María Zabala y Jesús Artigas y todos mis amigos hechos en la empresa (Iliana Ibarra, Carlos Lunas, Ramón Rayaran, Edwin Palma, Orlando Medina) por la confianza y ayuda que me brindaron.

## INDICE

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.2.1. <i>Objetivo General</i> .....	3
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.6. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>8</b>
<b>ASPECTO GENERALES .....</b>	<b>8</b>
2.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ÁREA .....	8
2.1.1. <i>Acceso al área</i> .....	9
2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-NATURALES .....	11
2.2.1. <i>Clima</i> .....	12
2.2.2. <i>Suelo</i> .....	13
2.2.3. <i>Hidrografía</i> .....	14
2.3. GEOLOGÍA REGIONAL.....	16
2.3.1. <i>Provincia Geológica de Imataca</i> .....	17
2.3.2. <i>Provincia Geológica de Cuchivero-Amazonas</i> .....	18
2.3.3. <i>Provincia Geológica de Roraima</i> .....	19
2.3.4. <i>Provincia Geológica de Pastora</i> .....	19
2.4. GEOLOGÍA LOCAL .....	22
2.4.1. <i>Supergrupo Pastora</i> .....	26
2.4.2. <i>Distrito aurífero de El Callao</i> .....	27
2.5. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA .....	30

2.6. MISIÓN.....	32
2.7. VISIÓN .....	32
2.9. CADENA DE VALORES.....	34
2.9.1. <i>Concesión y Permisología</i> .....	34
2.9.2. <i>Exploración</i> .....	35
2.9.3. <i>Deforestación</i> .....	35
2.9.4. <i>Geología De Mina</i> .....	35
2.9.5. <i>Perforación Grade-Control</i> .....	36
2.9.6. <i>Análisis De Laboratorio</i> .....	36
2.9.7. <i>Diseño De Bloques De Mineral</i> .....	36
2.9.8. <i>Planificación a Corto Plazo</i> .....	36
2.9.9. <i>Operaciones de Mina/Producción</i> .....	37
2.9.10. <i>Producción De Planta</i> .....	37
2.9.11. <i>Reconciliación Continúa</i> . .....	38
2.9.12. <i>Estéril/Escombreras</i> .....	42
2.9.13. <i>Reforestación/Almacenamiento De Capa Orgánica</i> .....	43
2.10. PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA MINA.....	43
2.10.1. <i>Límites de la Explotación a Cielo Abierto</i> .....	43
2.10.2. <i>Diseño de los Taludes de la Fosa</i> .....	45
2.10.3. <i>Escombreras</i> .....	45
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>46</b>
<b>BASES TEORICA. ....</b>	<b>46</b>
3.1. PERFORACIÓN.....	46
3.1.1. <i>Principio de Perforación</i> .....	46
3.1.2. <i>Tipos de Perforación</i> . .....	47
3.2. VOLADURA .....	50
3.2.1. <i>Explosivo</i> .....	50
3.2.2. <i>Propiedades de los Explosivo</i> .....	50
3.2.3. <i>Parámetros de diseño de Voladuras</i> . .....	54

3.2.4. Selección del Explosivo .....	56
3.2.5. Tipos de explosivo. ....	57
3.2.6. Desprendimiento de Energía y Fuerza.....	63
3.2.7. Factor de Energía .....	64
3.2.8. Accesorio de Voladura .....	66
3.2.9. Factor de carga .....	74
3.2.10. Voladura en Banco.....	75
3.2. MODELO DE PREDICCIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN.....	76
3.3.2. Ecuación de Larsson .....	78
3.3.3. Fórmula de SveDeFo: .....	79
3.3.4. Estimación del Factor de Roca: .....	79
3.3.5. Modelo de Fragmentación de Kuz- Ram.....	81
3.3.6. Modelo de Fragmentación JKMRC .....	85
<b>CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA.....</b>	<b>89</b>
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	89
4.2. DISEÑOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	89
4.3. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS .....	89
4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	89
4.5 ANÁLISIS DE DATOS .....	90
4.5. 1 Primera Etapa .....	90
4.5.2 Segunda Etapa.....	92
2º Fase Campo Evaluación y Análisis de la fragmentación .....	94
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>103</b>
<b>RESULTADO Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>103</b>
5.1 ANÁLISIS TEÓRICO.....	103
5.1.1 Caracterización de macizo rocoso de la mina choco 10.....	104
5.1.2 Definición de parámetros .....	106

<b>5.2 EVALUACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DE LAS VOLADURAS (FASE DE CAMPO)</b> .....	<b>108</b>
5.2.1 <i>Evaluación Post Voladura N° 22</i> .....	110
5.2.2 <i>Evaluación de Fragmentación de la Pila Post Voladura N°22</i> .....	111
5.2.3 <i>Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 22 Día #1</i> .....	116
5.2.4 <i>Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 22 Día #2</i> .....	119
5.2.5 <i>Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 22 Día #3</i> .....	122
5.2.6 <i>Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 22 Día #4</i> .....	125
5.2.7 <i>Evaluación Post voladura N°28</i> .....	129
5.2.8 <i>Evaluación de Fragmentación de la Pila Post Voladura N°28</i> .....	130
5.2.9 <i>Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 28 Día #1</i> .....	136
5.2.11 <i>Evaluación de Fragmentación de la Pila Post Voladura N°34</i> .....	143
5.2.12 <i>Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 34 Día #1</i> .....	146
5.2.13 <i>Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 34 Día #2</i> .....	148
5.3 <b>DISEÑO DE PATRONES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA</b> .....	153
5.3.1 <i>Área de influencia</i> .....	153
5.3.2 <i>Modelo Kuz Ram</i> .....	156
5.3 <i>Estimación de Costo</i> .....	158
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>160</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>162</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>164</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Ubicación Relativa de la Concesión Choco10 (Google earth 2010.).....	8
Figura N° 2 Concesiones mineras de la zona (Unidad de Geología P.M.G., S.A. 2003). .....	9
Figura N° 3 Camino asfaltado dirección Callao-El Choco (fuente propia) .....	10
Figura N° 4 Localización y vías de acceso de la población de El Callao y de la Concesión Choco 10 (C.V.G. Minerven. Unidad de Geología, 2002).....	11
Figura N° 5 Ubicación de las Estaciones Climatológica (Castro Crisly, 2007 C.V.G. Minerven).....	13
Figura N° 6 Cuenca del río Yuruarí (Unidad de Geología P.M.G., S.A. 2003). .....	15
Figura N° 7 Provincias geológicas del Escudo de Guayana. (C.V.G. Minerven División de Planificación de Minas, 1998). .....	17
Figura N° 8 Ubicación de los depósitos pertenecientes a la Concesión Choco 10 (Unidad de Geología P.M.G., S.A. 2003). .....	24
Figura N° 9 Columna Estratigráfica del Proyecto Choco 10 (Unidad de Geología P.M.G., S.A. 2003).....	25
Figura N° 10 Cadena de Valores Promotora Minera de Guayana .....	34
Figura N° 11 Esquema del Proceso de planta (Promotora Minera de Guayana).....	38
Figura N° 12 Límites de Coacia y Rosika (Promotora Minera de Guayana) .....	44
Figura N° 13 Límites de Pisolita Norte y Sur ( Promotora Minera de Guayana) .....	44
Figura N° 14 Carro Perforador por Percusión (Freites 2002).....	47
Figura N° 15 Perforadora Rotopercutiva con Martillo en Fondo(Manual CM-785 Atlas Copco) .....	48
Figura N° 16 Espaciamiento y Retiro (Freites 2002).....	55
Figura N° 17 Sobreperforación en voladura(Freistes,2002) .....	56
Figura N° 18 Apariencia física y presentación de ANFO. (Fuente, CAVIM).....	59
Figura N° 19 Relación entre la densidad y la velocidad de detonación en los hidrogeles.(López Jimeno, 1998).....	61

Figura N° 20 Apariencia física y presentación de Emulsión Explosiva Magnafrac Senatel. (Fuente, CAVIM) .....	62
Figura N° 21 Apariencia física del booster de pentolita. (Fuente, CAVIM) .....	67
Figura N° 22 Apariencia física y presentación de la mecha lenta de seguridad. (Fuente, CAVIM).....	69
Figura N° 23 Apariencia física y presentación del fulminante corriente •#•8. (Fuente, CAVIM) .....	70
Figura N° 24 Aspecto físico del detonador Nonel (Freites (2002) .....	71
Figura N° 25 Apariencia física y presentación del Det. Exel Handidet NONEL. (Fuente, CAVIM).....	72
Figura N° 26 Característica Interna del Detonador (Freites (2002).....	72
Figura N° 27 Factor de roca A por Cunningham. (Montoya, 2001).....	80
Figura N° 28 Factor de Roca definido por JKMRC. (Montoya, 2001) .....	81
Figura N° 29 Curva de Distribución (Montoya 2001) .....	82
Figura N° 30 Curva de distribución (Montoya (2001).....	85
Figura N° 31 Marcado de Patrón (fuente propia) .....	93
Figura N° 32 Perforación de Barrenos (fuente Propia).....	93
Figura N° 33 Labores de carga en frente de Voladura (fuente propia).....	94
Figura N° 34 Desplazamiento de Material Volado, Fenómenos de dilución. (Fuente Propia).....	97
Figura N° 35 Formato de datos de Diseños y Carga de Explosivo para las Voladura (Fuente Propia).....	100
Figura N° 36 Formato para la Evaluación de la Fragmentación Post Voladura (Fuente Propia).....	101
Figura N° 37 Formato para la Evaluación de la Fragmentación de acuerdo al avance del Equipo de acarreo. (Fuente Propia).....	101
Figura N° 38 Ubicación, Diseño de perforación y encendido de la voladura N°22(Fuente P.M.G).....	109
Figura N° 39 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22(Fuente Propia) .....	111

Figura N° 40 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22(Fuente Propia)	112
Figura N° 41 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22(Fuente Propia)	113
Figura N° 42 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22 (Fuente Propia)	117
Figura N° 43Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22 (Fuente Propia)	120
Figura N° 44 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22(Fuente Propia)	123
Figura N° 45 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22 (Fuente Propia)	125
Figura N° 46Ubicación, Diseño de perforación y encendido de la voladura N°28(Fuente P.M.G)	128
Figura N° 47 Secuencia de Evaluación por Tramo (Fuente Propia)	130
Figura N° 48 Secuencia de Evaluación por Tramo (Fuente Propia)	131
Figura N° 49 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 28 (Fuente Propia)	132
Figura N° 50 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 28 (Fuente Propia)	133
Figura N° 51 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 28 (Fuente Propia)	137
Figura N° 52 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 29 (Fuente Propia)	138
Figura N° 53Ubicación, Diseño de perforación y encendido de la voladura N°34(Fuente P.M.G)	141
Figura N° 54 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 34 (Fuente Propia)	143
Figura N° 55 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N°34 (Fuente Propia)	144

Figura N° 56 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 34 (Fuente Propia)	146
Figura N° 57 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 34 (Fuente Propia)	147
Figura N° 58 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 34 (Fuente Propia)	149
Figura N° 59 Área de influencia de los barrenos (Fuente Propia)	155

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Coordenadas UTM de la Concesión Choco 10 .....	9
Tabla N° 2 Características litológicas de la Provincia de Pastora (Guilloux, 1997). .	21
Tabla N° 3 Estratigrafía del Distrito de El Callao (Unidad Geología C.V.G. Minerven 2002). .....	22
Tabla N° 4 Parámetro de diseño de los Taludes .....	45
Tabla N° 5 Propiedades del ANFO.....	60
Tabla N° 6 Propiedades de la emulsión encartuchada Magnafrac .....	63
Tabla N° 7 Propiedades de los Booster de Pentolita.....	68
Tabla N° 8 Relación entre la resistencia a la compresión y el factor de carga, (Kutunov, 1978) .....	75
Tabla N° 9 Ecuaciones para el cálculo de Retiro.....	91
Tabla N° 10 Ecuaciones para el Diseño de Carga .....	91
Tabla N° 11 Parámetros para la evaluación de la fragmentación en campo.....	95
Tabla N° 12 Clasificación del Macizo Rocosos Sistema Parámetros .....	104
Tabla N° 13 Prueba de Laboratorio – Propiedades de Roca Intacta.....	105
Tabla N° 14 Prueba de Laboratorio – Corte Directo .....	105
Tabla N° 15 Patrón Teórico de Perforación Por Autor.....	106
Tabla N° 16 Diagrama de Diseño de Carga Teórico.....	106
Tabla N° 17 Patrón de Perforación Promedio.....	107
Tabla N° 18 Diagrama de Diseño de Carga Promedio .....	107
Tabla N° 19 Resumen de las Evaluación de la Fragmentación .....	153
Tabla N° 20 Patrones Equivalente de acuerdo a los Patrones usados en la mina Choco 10.....	155
Tabla N° 21 Estimación de Costo de los patrones usado por P.M.G y los Planteando en este Trabajo .....	159

## INDICE DE GRAFICOS

Grafico N° 1 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	114
Grafico N° 2 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010.....	114
Grafico N° 3 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010.....	114
Grafico N° 4 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	114
Grafico N° 5 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	115
Grafico N° 6 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	115
Grafico N° 7 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	115
Grafico N° 8 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	115
Grafico N° 9 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	116
Grafico N° 10 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	118
Grafico N° 11 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	118
Grafico N° 12 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	121
Grafico N° 13 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	121
Grafico N° 14 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	124

Grafico N° 15 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	124
Grafico N° 16 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	124
Grafico N° 17 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	126
Grafico N° 18 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	126
Grafico N° 19 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	133
Grafico N° 20 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	133
Grafico N° 21 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	134
Grafico N° 22 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	134
Grafico N° 23 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	135
Grafico N° 24 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	135
Grafico N° 25 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	135
Grafico N° 26 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	135
Grafico N° 27 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	136
Grafico N° 28 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	138
Grafico N° 29 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	138

Grafico N° 30 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	139
Grafico N° 31 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	139
Grafico N° 32 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	139
Grafico N° 33 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	144
Grafico N° 34 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	144
Grafico N° 35 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	145
Grafico N° 36 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	145
Grafico N° 37 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	147
Grafico N° 38 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	148
Grafico N° 39 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	148
Grafico N° 40 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	150
Grafico N° 41 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	150
Grafico N° 42 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	151
Grafico N° 43 Destino Final del Mineral de la Voladura N°22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	151
Grafico N° 44 Destino Final del Mineral de la Voladura N°28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	152

Grafico N° 45Destino Final del Mineral de la Voladura N°34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	152
Grafico N° 46Comparación de las Curvas de Predicción de la Fragmentación entre a la Malla Usada por PMG 5x5 vs a una Malla Equivalente 4,7X 5,4 planteada de este trabajo. Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	156
Grafico N° 47Comparación de las Curvas de Predicción de la Fragmentación entre a la Malla Usada por PMG 5x5 vs a una Malla Equivalente 4,7X 5,4 planteada de este trabajo. Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 .....	156
Grafico N° 48Comparación de las Curvas de Predicción de la Fragmentación entre a la Malla Usada por PMG 4,5x5 vs a una Malla Equivalente 4,4 X 5,1 planteada de este trabajo. Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela. ....	157
Grafico N° 49 Comparación de las Curvas de Predicción de la Fragmentación entre a la Malla Usada por PMG 4x4 vs a una Malla Equivalente 3,7X 4,3 planteada de este trabajo. Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela. ....	157

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCION**

Un factor clave en la explotación minera es contar con los patrones y explosivos adecuados para abrirse paso en los distintos yacimientos, tanto a cielo abierto como subterráneos. La voladura es uno de los procesos de mayor relevancia en la extracción minera y su misión específica es pre acondicionar la roca, sea mineral o estéril, para su posterior tratamiento, de la forma más económica y sustentable para el negocio global.

En la investigación realizada en este Trabajo Especial de Grado (T.E.G.), se emplearon diversos conocimientos geológicos y de perforación y voladura, con la finalidad de encontrar, explicar y plantear una mejora a los diseños de los patrones de perforación y voladura actualmente usados por la empresa Promotora Minera de Guayana. Se evaluó la fragmentación de distinta voladura hecha en la mina, y se realizaron una serie de cálculo y estimaciones de costo, para plantear diferentes patrones de perforaciones aplicables en las distintas fosas actualmente en explotación de la mina.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las operaciones de arranque de mineral en la mina Choco 10 de la empresa Promotora Minera de Guayana (PMG) S.A, se efectúan mediante procesos de voladura de rocas. Actualmente se realiza un promedio de dos voladuras al mes, siendo esta actividad indispensable para el desarrollo común de la minería en este tipo de yacimiento. Hoy por hoy, los patrones de voladuras utilizados fueron diseñados considerando ciertos parámetros, y tomando en cuenta las características del yacimiento para ser volado con un explosivo específico.

Debido a las condiciones que se exigen la planta de preparación y concentración del mineral, con respecto a la descarga en las tolvas y posterior reducción de tamaño, y aunado, a que la mina ha adquirido nuevos equipos de perforación en la mina, surgió la necesidad de rediseñar los patrones de perforación y voladura empleados. Este trabajo de investigación se plantea realizar un diseño que permita optimizar la distribución de tamaño del mineral, tomando en cuenta el diámetro de perforación y el tamaño apropiado que permitan que el material sea llevado directamente a las tolvas de la planta. Lo que mejorará el rendimiento de la operación de descarga del mineral minimizando el sobre tamaño obtenido en las voladuras.

## **1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Objetivo General**

- Diseñar patrones de perforación y voladura para normalizar la fragmentación del material resultante de la mina Choco 10 de la empresa PMG S.A. El Callao estado Bolívar.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Recopilar datos geomecánicos de las rocas a través de las muestras obtenidas de las perforaciones geológicas.
- Definir los parámetros que intervienen en el diseño de patrones perforación y voladuras.
- Analizar los resultados de la ejecución de la voladura para validación del patrón de perforación y voladura en las labores de la mina.
- Evaluar el comportamiento de los frentes volados en cuanto a la fragmentación resultante.
- Proponer el patrón de perforación y voladura adecuado para su implementación en la operación de la mina.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

En las operaciones mineras los costos de arranque mediante la utilización de explosivos pueden llegar a alcanzar hasta un 40% de los costos totales de la mina, por lo que se tiene que tener mucha prudencia en el diseño de patrones perforación de voladuras para consumos de explosivo lo más óptimo posible.

Además que, para obtener una alto porcentaje de recuperación del elemento de interés en este caso el oro, es necesario que el mineral aurífero sea reducido de tamaño hasta obtener la liberación del útil, conveniente para su concentración. Esta preparación mecánica del mineral está directamente asociado a un consumo importante de energía, lo que implica establecer las mejores condiciones en los circuitos de tratamiento para un consumo energético aceptable. Este trabajo evalúa alternativas que permitan este ahorro desde el arranque del mineral.

Por lo tanto, el rediseño de los patrones de perforación y voladura, pueden conducir a importantes ahorros en el consumo de energía tanto en el transporte de material como el reducción de tamaño, por PMG, ya que se lograría mejorar la productividad de las operaciones unitarias dentro de la mina y la planta donde se procesa el mineral, obteniendo una fragmentación adecuada que permita un mejor aprovechamiento del mineral.

### **1.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación permitirá implementar mejoras en el área de perforación y voladura en la mina Choco 10 de P.M.G, rediseñando el patrón que es utilizado actualmente, para evaluar las mejoras en función del todo el ciclo productivo de la mina.

## **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Entre las principales limitaciones que se han podido detectar para la ejecución de la presente investigación, están algunas condiciones operacionales, tales como:

- Durante la realización de este trabajo la mayoría de las voladuras efectuadas se ejecutaron en frentes donde se hallaba estéril, por tanto el tamaño de la muestra se ve reducida.
- Restricción en cuanto al seguimiento de la pila obtenida en las voladuras debido a problemas con el traslado por falta de unidades transporte, además que por normativas legales en cuanto a la seguridad de los pasantes dentro de la mina no era posible realizar la evaluación de manera continua.
- Baja disponibilidad de los equipos de carga y acarreo, motivado a paradas de los mismos por mal funcionamiento, lo que genera lapsos interrumpidos de carga y acarreo del material, y por ende tiempos mucho más largo para el seguimiento de la evaluación de la fragmentación.
- Por motivo de confidencialidad de la empresa no es posible realizar una estimación de costo real para los patrones planteados.

## **1.6. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN**

**ARAYA L., (2010)**, en este trabajo, a través del modelo de predicción de Kuz Ram se determinó la malla de perforación y voladura óptima, para obtener una fragmentación adecuada para una trituradora móvil de mandíbula, en esta investigación se explica de una manera concreta como utilizar este modelo predictivo para una cantera de granito y muestra los rendimientos en distintos casos.

**BARRIOS J.,(2008)**, realizo un monitoreo a los patrones de perforación y voladura con el objeto de recopilar la información necesaria en cada uno de los procesos y factores involucrados, para la perforación; medición de retiro, espaciamento, longitud de perforación, diámetro de perforación, y para la voladura; proporciones de

carga, distribución de carga, longitud de taco, esto lo hizo con la finalidad de tener una referencia de lo que se está utilizando para así diseñar un nuevo patrón que contemplo todos estos parámetros teórico-técnicos.

**ARNAUDES R., (2005)**, propuso optimizar los patrones de perforación y voladura que se utilizaban en la Mina Paso Diablo, mediante la realización de ensayos geomecánicos. De esta manera se calculó la cantidad de explosivo que se necesitaba en cada bloque litológico que comprende el material estéril, para poder ser fragmentado satisfactoriamente. Una vez obtenido el factor de carga mediante el uso de la programación lineal, calculó cada una de las variables que intervienen en el proceso de voladura, como el retiro, el espaciamiento, el cuello del barreno, la sobreperforación y la cantidad de explosivo.

**CASTILLO B., (2002)**, concluyó en su investigación que la implantación que el software Drill & Blast de MINCOM no afecta la productividad, ni la disponibilidad física de los equipos de perforación. En cambio identifico que los valores de disponibilidad mecánica y utilización de la disponibilidad física aumentan 1,55% y 4,66% de los valores promedio diario de los datos de control.

**CEDIEL V., (2001)**, implementó nuevos patrones de perforación y voladura que permitieron la introducción de relaciones de carga explosiva ANFO/Dinamita por el orden de los 80/20 para las labores en chimeneas, Obtuvo un aumento de la producción en las labores en chimeneas y pasar de 13 ton/disparo a 15 ton/disparo. De esta manera mejoro los avances de 80% a 94%. De igual forma, los costos del área de perforación y voladura se disminuyeron de 20 \$/ton a 18 \$/ton en la segunda etapa del estudio y de 18 \$/ton a 10 \$/ton en la tercera etapa, significando una reducción por el orden del 50% con respecto a las condiciones iniciales del estudio.

**GALINDO R., (1999).** Investigo la factibilidad de implementar un nuevo método de voladuras de rocas, como lo es la voladura a través de mantos de carbón, en la Mina Paso Diablo, sector Baqueta, perteneciente a la empresa Carbones del Guasare S.A., y ubicada en el Distrito Mara, Estado Zulia.

**VENEGAS H., (1999),** centro su investigación en la búsqueda y aplicación de una metodología de explotación que involucra el diseño y aplicación de técnicas de perforación y voladura de rocas, para optimizar y aumentar la producción reduciendo los altos costos generados actualmente en la mina subterránea La Camorra.

## CAPÍTULO II

### ASPECTO GENERALES

#### 2.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ÁREA

El Callao se encuentra ubicado en el estado Bolívar, Venezuela, aproximadamente a 285 Km. al Sur-Este de Ciudad Bolívar, a 195 Km. de Puerto Ordaz, a 17 Km. de Guasipati y a 40 Km. de Tumeremo. La zona de exploración y operaciones se encuentra situada en el kilómetro 15 de la carretera nacional El Callao - El Manteco, mejor conocida como Sector EL Choco, específicamente en el área de Choco 10 ver figura N° 1.

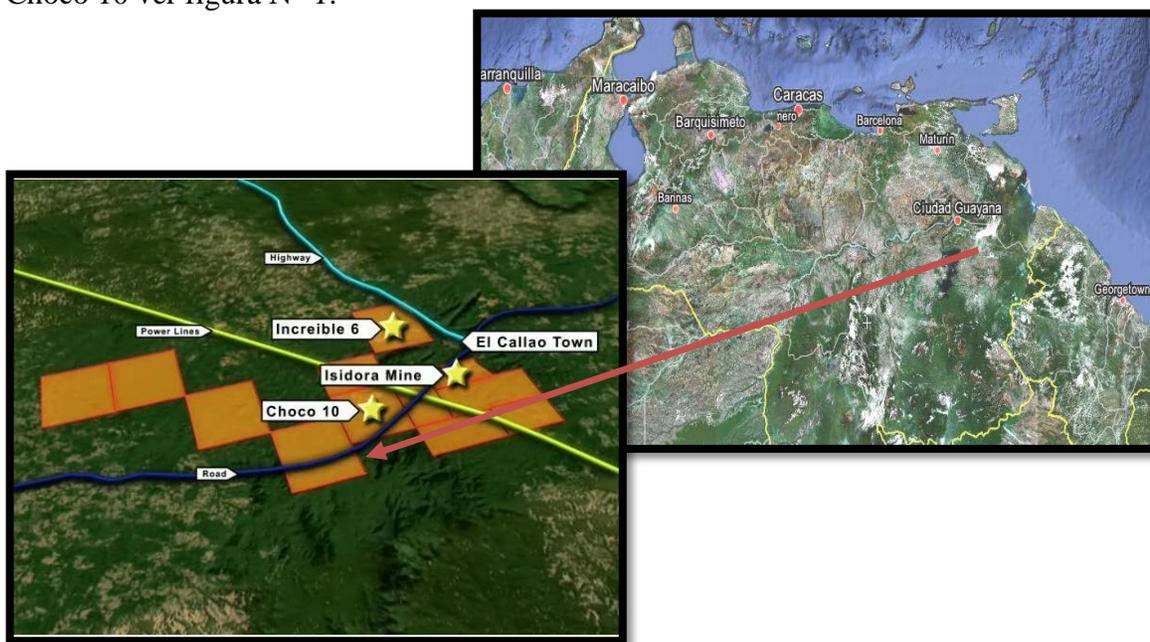


Figura N° 1 Ubicación Relativa de la Concesión Choco10 (Google earth 2010.)



procesadora, el acceso es vía terrestre por una carretera con una distancia aproximada de 30 Km.; el camino es asfaltado, mientras que en la entrada a concesión el camino es engrazonado.

Es importante agregar que existe otra vía de comunicación con la Concesión, la cual es a través de la vía La Ramona, siendo los primeros 10 Km. en asfaltados y otros 10 Km., aproximadamente es engrazonado (ver figura N° 3)



**Figura N° 3 Camino asfaltado dirección Callao-El Choco (fuente propia)**

En la figura N° 4 mostrada a continuación se aprecian las posibles vías de acceso a la concesión Choco10 y las poblaciones cercanas, a través de ellas se movilizan materiales, equipos y personal requerido en las operaciones de mina.

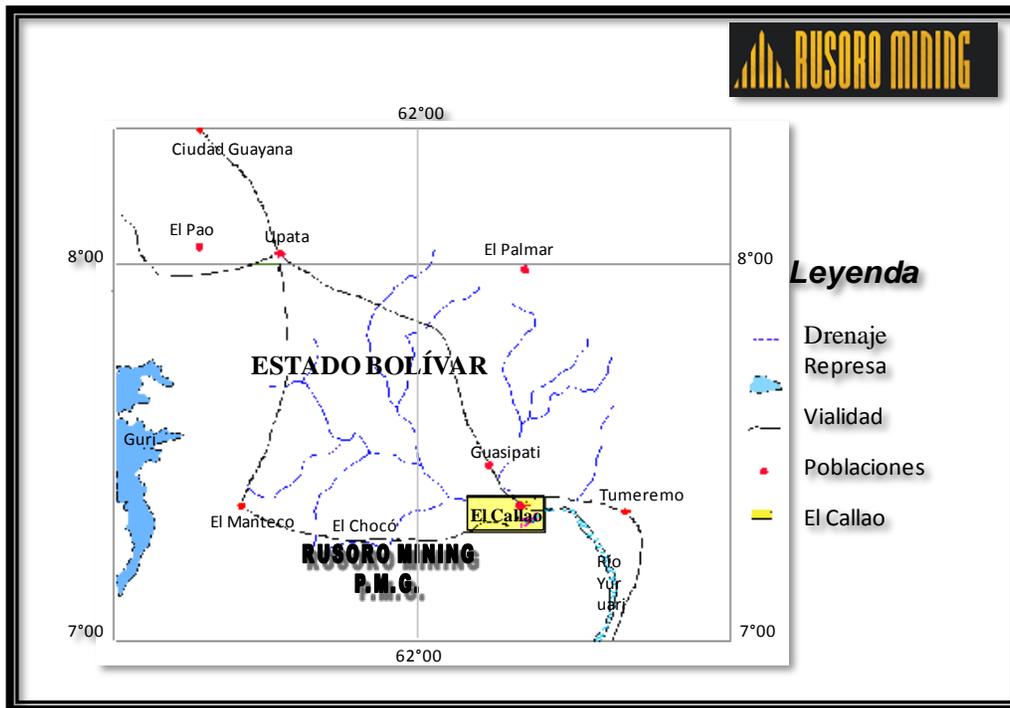


Figura N° 4 Localización y vías de acceso de la población de El Callao y de la Concesión Choco 10 (C.V.G. Minerven. Unidad de Geología, 2002).

## 2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-NATURALES

En la Concesión El Choco 10 se puede distinguir un claro dominio espacial del paisaje de lomerío, aproximadamente el 99 % (7.174 ha) de la superficie total, lo que determina una cierta monotonía topográfica, con altos valores de pendiente; mientras que el restante 1% (40 ha), corresponde al paisaje valluno donde predominan los valores de pendiente bajos y las geoformas planas y semiplanas. Además, estas dos unidades intercalan los planos inclinados que forman parte integral del valle.

El paisaje de lomas no posee una homogeneidad absoluta, en razón de la distribución de las pendientes del terreno. En efecto, se puede diferenciar un tipo de loma con pendientes de media a baja, sobre divisorias de aguas localizadas hacia los extremos noreste y noroeste del área, donde la altitud relativa es de 250 msnm. Hacia el centro norte, se presenta un relieve más escarpado y de configuración masiva, con

pendientes altas, mayores al 45%; igualmente sucede en ambas vertientes del Cerro El Purgual, en el extremo sur.

La menor altura relativa del área es de 180 msnm asociada a la vega coluvio-aluvial de la quebrada Carne Cruda, rodeada por planos de vertientes con pendientes que superan el 45% y alcanzan en su tope alturas sobre los 400 msnm.

### **2.2.1. Clima**

A partir de los estudios realizados por en el proyecto de inventario de la Región Guayana, utilizando los datos suministrados por la estación meteorológica Puente Blanco (ilustrada en la figura N° 5) pertenecientes al Ministerio del Ambiente, ubicado según siguientes coordenadas geográficas: Latitud Norte 7° 22' 07" y Longitud Oeste 61° 49' 41" con una altitud de 180 m.s.n.m.; entre los años 1974-1985 C.V.G. TECMIN (1989), se obtuvo que las condiciones climáticas medias del área de estudio son:

- Precipitación Total Media Anual: 1050 mm.
- Evaporación Total Media Anual: 1743 mm.
- Temperatura Media Anual: 35,7 °C.
- Temperatura Media Mínima Anual: 21 °C.
- Temperatura Media Máxima Anual: 31,4 °C.

El clima es tropical de sabana arbolada (Clasificación de Koeppen), con un período de lluvias comprendido entre los meses de Abril a Octubre.

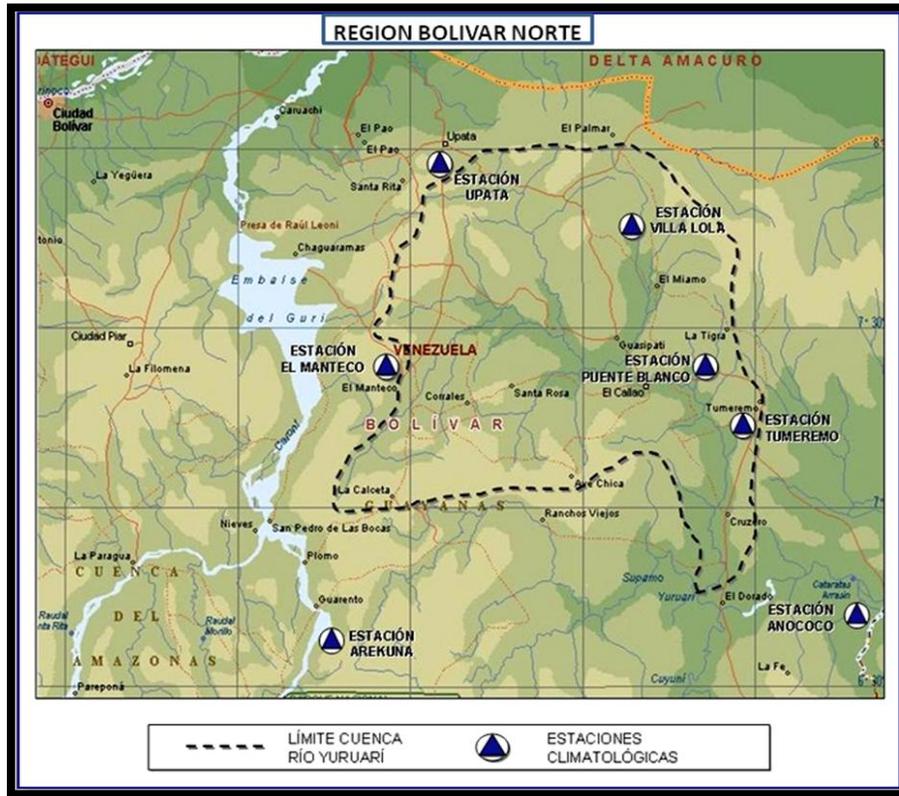


Figura N° 5 Ubicación de las Estaciones Climatológica (Castro Crisly, 2007 C.V.G. Minerven).

### 2.2.2. Suelo

Las características del suelo de un área constituye la respuesta del material parental o de formación a elementos tales como clima, cobertura vegetal, posición geomorfológica y acción entrópica. En este sentido, los suelos de Guayana influenciados por un clima lluvioso tropical han generado un perfil de meteorización profundo donde han ocurrido procesos de lavado de bases, translocación y transformación de arcillas, generación de concreciones ferruginosas, dando lugar, a la presencia de suelos muy evolucionados, clasificándolos según la Taxonomía de suelos como Ultisoles. Asimismo en algunos sectores, asociadas principalmente a cursos de agua, valles, laderas y/o topes donde han habido deposiciones recientes de materiales y/o afloran fragmentos de roca, se presenta un incipiente desarrollo pedogenético pudiéndose clasificar estos suelos como entisoles.

A escala regional, aunque las características de los suelos dependen de su posición geomorfológica, en términos generales existe un predominio de Ultisoles sobre Entisoles, prevaleciendo aquellos que presentan un alto contenido de materia orgánica (humulsts), pero que en realidad su fertilidad natural es muy baja debido a que la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de bases son muy bajas.

La textura en estos suelos va de franco a francoarcillosa en superficie y francoarcillosa a arcillosa con la profundidad; el pH es moderadamente ácido, y los colores son marrón rojizo a rojizos y rojos.

En cuanto a los entisoles, ubicados en los valles, son moderadamente drenados, cuyo material lo conforman sedimentos coluvio-aluviales asociados a un fondo rocoso en el cauce del río. Estos suelos son, por lo general, arenosos en todo el perfil, profundos, con bajos contenidos de materia orgánica, y bajas capacidad de intercambio catiónico y de saturación de bases; el pH es extremadamente ácido.

### **2.2.3. Hidrografía**

Cabe resaltar que la red hidrográfica en el área de la concesión El Chocó, presenta un patrón dendrítico, siendo la mayoría de los cuerpos de agua superficiales son de carácter intermitente, razón por la cual no se cuenta con datos hidrológicos. La estación hidrométrica más cercana se encuentra ubicada en el río Yuruari en El Callao, y los registros disponibles (1977 – 1982).

El área de las concesiones, abarca la sección alta de las cuencas de las quebradas El Choco, Capia, La Iguana, Carne Cruda y Capia 2, las cuales son alimentadas por numerosos drenes tributarios. Las quebradas El Choco y Capia, forman una sola unidad hidrográfica a escala regional, que aporta su caudal a la cuenca del río Yuruari; las otras tres (La Iguana, Carne Cruda y Capia 2), son cursos independientes y que también confluyen, pero de manera directa, en el mismo río. De acuerdo a lo anterior, las subcuencas que se ubican en el área de las concesiones El Chocó pertenecen a la cuenca del río Yuruari en su parte alta, siendo ésta una de

las hoyas hidrográficas de mayor representación del río Yuruán, por el aporte de su carga; el río Yuruán es afluente importante del río Cuyuní. En la figura N° 6 se muestra la ubicación geográfica del área del Proyecto, respecto a la cuenca del río Yuruarí.

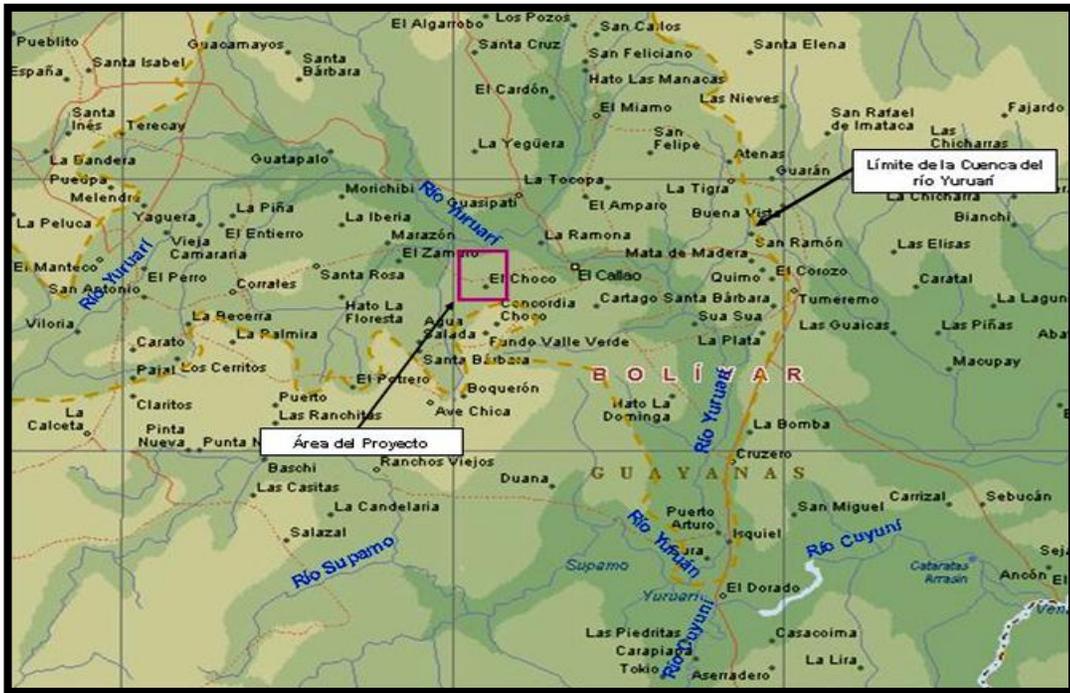


Figura N° 6 Cuenca del río Yuruarí (Unidad de Geología P.M.G., S.A. 2003).

2.2.3.1. Patrón de drenaje: en la zona bajo estudio el comportamiento de la red de drenaje es un reflejo no sólo de las condiciones geomorfológicas imperantes, sino también de la influencia de las geoestructuras, ya que éstas dominan directa o indirectamente la forma, densidad y distribución de los drenes.

En términos generales en la zona se desarrolla un patrón de drenaje subdendrítico de mediana densidad. Sin embargo, se presentan algunas variaciones en su distribución que responden a la influencia de factores geológicos, estructurales y de pendientes. El patrón de drenaje desarrollado en algunos sectores es más ramificado y con características de dendrítico que en otros. Además, existe una

modificación o combinación de patrones de subdendrítico con subparalelo en muchos casos.

2.2.3.2. Subcuenca Quebrada El Chocó: la subcuenca de la quebrada El Choco, es la de mayor tamaño (5.322 ha) dentro de la Concesión, equivalente al 74% de la superficie total; su eje principal presenta una longitud total de recorrido de 11,5 Km. en dirección predominante E-O hasta su confluencia en la quebrada Capia, atravesando el área de las concesiones justo en el centro (9 Km. son dentro del área, 78%) sobre un terreno de importantes desniveles, cuyas nacientes se ubican sobre los 600 msnm para luego confluir a una cota inferior a los 180 msnm.

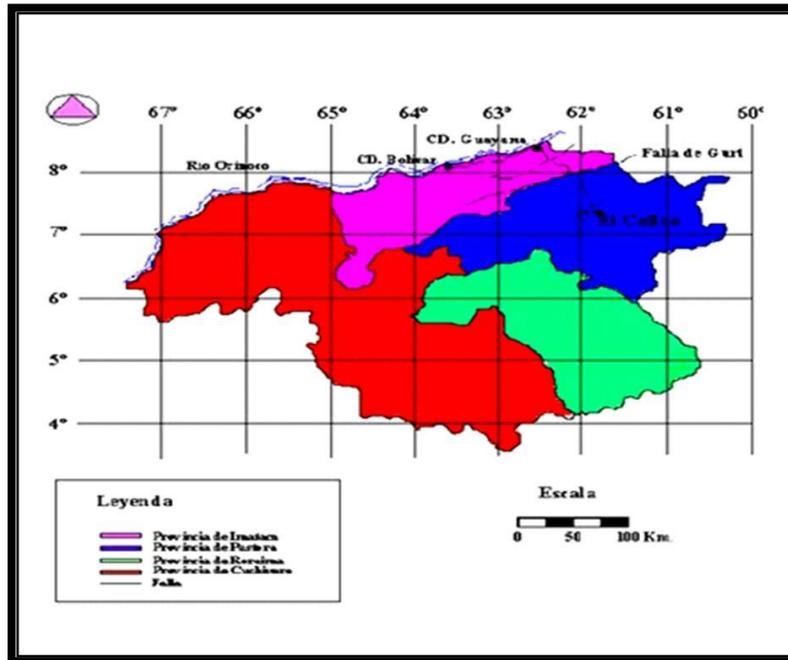
En su descenso, el cauce principal y sus tributarios moldean la llamada Montaña El Choco en cuyas estribaciones destacan el Cerro El Choco, ubicado en el extremo este del área y el Cerro El Purgual ubicado al Sur. Buena parte de la superficie de ambos cerros se encuentra dentro de la zona de la concesión. Los primeros 2,5 Km. de recorrido, el curso de agua principal presenta una pendiente longitudinal de cerca de 30%, al penetrar el lindero Este de la Concesión, esta quebrada desarrolla un perfil longitudinal variado, con una 40% de pendiente en los 700 m iniciales, para luego cambiar a una pendiente de 20% en un recorrido de 3 Km., luego hasta su confluencia en la quebrada Capia, mantiene una pendiente del 8% aproximadamente.

El régimen de escurrimiento es intermitente y el patrón de drenaje es del tipo subdendrítico encontrándose un gran número de lineamientos estructurales y pequeñas fallas locales que controlan localmente la dirección de los cursos de agua asemejando en ocasiones a un patrón de drenaje paralelo y subparalelo.

### **2.3. GEOLOGÍA REGIONAL**

El Escudo de Guayana forma parte del período Precámbrico, del Cratón Amazónico y del Oeste de África y se continua en la Guayana y parte Noroeste de Colombia, con unidades litoestratigráficas, metamorfismo y depósitos minerales similares, ocupa más del 50% de la superficie de Venezuela.

El Escudo de Guayana en Venezuela se ubica al sur del río Orinoco y en particular se compone de las siguientes Provincias Geológicas: Imataca (PI), Pastora (PP), Cuchivero (PC), y Roraima (PR), (ver figura N° 7), Mendoza (2000).



**Figura N° 7 Provincias geológicas del Escudo de Guayana. (C.V.G. Minerven División de Planificación de Minas, 1998).**

El área estudiada está ubicada dentro del escudo de Guayana, el cual está relacionado con el escudo Brasileño o Amazonia que hasta ahora se ha definido como la estructura geológica más antigua de Sur América. El Escudo de Guayana está formado por diversas litologías arqueozoicas y proterozoicas modificadas en mayor o menor escala, durante una serie de episodios geotectónicos clasificados por Martín B (1974) y Mendoza (1977).

### **2.3.1. Provincia Geológica de Imataca**

La Provincia Geológica de Imataca se extiende en dirección SW-NE desde las proximidades del Río Caura hasta el Delta del Orinoco por unos 550 Km., y en

dirección NW-SE aflora desde el curso del Río Orinoco hasta la falla de Gurí por unos 80 Km. Este es un bloque de 44.000 km<sup>2</sup>, que tiene sobre él remanentes de CRV (como La Esperanza y Real Corona) y gneises tipo Complejo de Supamo, de 2.24 GA (Sidder y otros, 1991).

Litológicamente se constituye de gneises graníticos y granulitas félsicas (60 % a 70 %), anfibolitas y granulitas máficas y hasta ultramáficas, y cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro (BIF), dolomitas, charnoskitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales de menos metamorfismo. Las rocas más jóvenes se presentan como Cinturones de Rocas Verdes (CRV). Estas rocas de alto grado metamórfico se interpretan (Mendoza 1974) como evolucionados primitivos CRV y complejos graníticos potásicos y sódicos, varias veces tectonizados y metamorfizados hasta alcanzar la fase anfibolita y granulitas.

### **2.3.2. Provincia Geológica de Cuchivero-Amazonas**

Esta provincia de edad Paleoproterozoico tardío a Mesoproterozoico, se compone de rocas intrusivas a volcánicas calcoalcalinas félsicas, y rocas sedimentarias que intrusieron y se depositaron sobre un basamento de CRV granitos sódicos asociados, en las partes sur, centro y occidente, y probablemente del Complejo de Imataca en la parte Norte-Noreste del escudo de Guayana en Venezuela.

Los afloramientos pertenecientes a esta provincia se extienden desde la región de Caicara en el Noroeste del Escudo, pasando por El Chiguao y La Vergareña al oeste del Río Paragua, y continúa en la parte sur oriental hacia Santa Elena de Uairén, en el territorio venezolano, donde se le asigna el nombre de Pacaraima.

Mendoza (1974), en el área del Río Suapure, definió la sección más completa de la provincia Cuchivero con el nombre de Supergrupo Cedeño (SC) formado por el Grupo Cuchivero (Formación Caicara, Granito de Santa Rosalía, Granito de San Pedro y Granito de Guaniamito), Metabasitas y el Grupo Suapure (Granito de Pijigüao y Granito Rapakivi de Parguaza). Discordantemente al Supergrupo Cedeño yacen rocas sedimentarias del Grupo Roraima.

### **2.3.3. Provincia Geológica de Roraima**

Esta provincia compone de rocas del Grupo Roraima con diabasas y rocas gabronoríticas cuarcíferas a dioríticas cuarcíferas de la Asociación Avanadero. Se extiende desde los límites del Parque Nacional Canaima, hacia el Km. 95 cerca de la Piedra de la Virgen, hasta Santa Elena de Uairén en dirección norte -sur y desde el Río Venamo hasta las proximidades del Río Paragua.

Carece de marcado tectonismo (sinclinales suaves muy abiertos y de muy bajo buzamiento) con algún fajamiento, incluso fallas de arrastre como el Tepuy de Perú. No muestran metamorfismo regional. Solo se registran metamorfismo de contacto de rocas de Roraima con granitos intrusivos, y de rocas máficas de la asociación Avanadero.

### **2.3.4. Provincia Geológica de Pastora**

Se extiende desde la falla de Gurí al Norte hasta las proximidades del Parque Nacional Canaima al Sur (Km. 95) por el Este hasta los límites con la zona en Reclamación del Esequibo y al Oeste hasta el Río Caura. También conocida como la Provincia del Oro, está formada por Cinturones de Rocas Verdes (CRV) delgados, más antiguos y tectonizados, tipo Carichapo y CRV, más anchos, jóvenes y menos tectonizados tipo Botanamo, y por complejos graníticos sódico, como el Complejo de Supamo. Siendo toda la secuencia intrusionada por granitos potásicos, dioritas y rocas gabroides con escasos y no bien definidos complejos máficos-ultra máficos, además de intrusiones y sills de diabasas y rocas asociadas norítico-gabroides con algo de cuarzo. Los cinturones de rocas verdes más antiguos tienen tendencias estructurales próximas a N-S ( $N10^{\circ}E$  a  $N20^{\circ}O$ ), mientras que los más jóvenes casi siempre muestran pendientes en ángulos rectos con las anteriores, próximas a E-O ( $N70^{\circ}$ - $80^{\circ}E$ ). Pudiéndose observar el choque de estas dos tendencias y de ambos tipos de CRV en las imágenes de radar que cubren la zona del Río Marwani, quedando detallado e los estudios de C.V.G. Tecmin CA-USGS (Salazar y otros, 1989). La

zona ubicada en la región de Guasipati-El Callao, donde aflora una buena sección del Supergrupo Pastora, antiguo CRV, compuesto por el Grupo Carichapo y la Formación Yuruarí.

### **Grupo Carichapo**

El Grupo Carichapo está formado por las Formaciones Cicapra predominantemente komatítica, la Formación Florinda, basáltico tholeítica a komatítica y la Formación El Callao, generalmente basáltico-andesítica (basandesitas) tholeíticas. La Provincia de Pastora o provincia del oro está formada por cinturones de rocas verdes (CRV), delgados, más antiguos, tectonizados tipos Carichato y CRV, más anchos, jóvenes menos tectonizados y metamorfizados tipo Botana (ver tabla 2).

En la región Guasipati – El Callao aflora una buena sección del Supergrupo Pastora, cinturones de rocas verdes (CRV) más antiguo, compuesto por Carichapo y la Formación Yuruarí. El Grupo Carichapo está constituido por las formaciones Cicapra, predominantemente komatítica, Florinda, basalto tholeítica a komatítica y El Callao, típicamente basalto-andesítica (“basandesitas”) tholeíticas.

Tabla N° 2 Características litológicas de la Provincia de Pastora (Guilloux, 1997).

		<b>Unidad</b>	<b>Descripción Litológica</b>	
<b>Provincia Geológica de Pastora</b>	<b>Supergrupo Pastora</b>	<b>Grupo Botanamo</b>	<b>Complejo Supamo</b>	Rocas graníticas sódicas: cuarzo-dioritas, granodioritas, trondjemitas y además, paragneises y migmatitas.
			<b>Formación Los Caribes</b>	Secuencia de rocas metamórficas: filitas, meta areniscas rojas y meta conglomerados polimígticos, intercalados con lavas y brechas piroclásticas ácidas.
			<b>Formación Caballape</b>	Rocas epiclásticas volcánicas (limonitas, grauvaca y conglomerados) 80%, y piroclásticas (tobas y brechas) 20% y flujos de andesitas y dacitas intercaladas.
		<b>Grupo Carichapo</b>	<b>Formación Yuruari</b>	Rocas epiclásticas (filitas, esquistos, meta limonitas y meta areniscas) localmente: brechas tobáceas y lavas dacíticas, metamorfismo regional, facies de los esquistos verdes y localmente metamorfismo térmico.
			<b>Formación El Callao</b>	Metaladas basálticas a andesíticas, afectadas por metamorfismo regional facies de los esquistos verdes a las facies anfibolita localmente. Lavas tholeíticas normales a ferruginosas.
			<b>Formación Florinda</b>	Metalavas tholeíticas normales o magnesianas y menores cantidades komatíticas, como esquistos talco-carbonáticos.
	<b>Formación Cicapra</b>		80% de los esquistos anfibólico-epidótico-albíticos, afectados por metamorfismo regional facies de los esquistos verdes. Transformados en anfibolitas localmente, basaltos komatíticos en menor proporción.	

## 2.4. GEOLOGÍA LOCAL

El Proyecto Choco 10 está ubicado geológicamente entre una secuencia estratigráfica supra-crustal, de edad Proterozoica inferior a media, con tendencia este-noreste constituida predominantemente por las Formaciones El Callao y Cicpra; estas últimas interesadas por intrusiones de sills gabricos. La relación estratigráfica entre estas Formaciones no está clara; pueden ser contemporáneas o tal vez Cicpra está un poco más tardía de El Callao. La estratigrafía generalmente aceptada para el Distrito de El Callao, desde la formación más vieja hasta la más joven, o desde la más primitiva hasta la más evolucionada es como lo muestra la Tabla N° 3.

**Tabla N° 3 Estratigrafía del Distrito de El Callao (Unidad Geología C.V.G. Minerven 2002).**

<b>Formación El Callao</b>	Flujos y almohadillas basálticas - andesíticos (probablemente toleíticos), tobas, chert, jaspe y anfibolitas de grano fino.
<b>Formación Cicpra</b>	Tobas y brechas metamórficas andesíticas (posiblemente calco-alcalinas) y epiclástitas asociadas, local anfibolitas y chert.
<b>Formación Yuruari</b>	Filitas, esquistos cloríticos y sericíticos, meta-sedimentos feldespáticos, flujos andesíticos – dacíticos, tobas, brechas y chert.
<b>Formación Caballaje</b>	Greywacke y conglomerados volcánicos, tobas andesíticas y dacíticas y brechas.

Sobre dichas unidades hay intrusiones graníticas, cuarzo – monzoníticas y trondjhemíticas del Complejo Supamo, además de sills y diques diabasicos y diques gabricos.

Los tipos de roca representativos comprende generalmente vulcanitas (flujos masivos y basaltos almohadillados) máficas tholeíticas metamorfoseadas en facies a Prenita – Pumpellita (metamorfismo de grado muy bajo) hasta raramente Esquistos Verde, vulcanitas y vulcanoclástitas (tobas y aglomerados andesíticos y dacíticos) calco-alcalinas de composición intermedia hasta félsica, y sedimentos químicos (*chert*) y epiclástico (greywacke, limonitas y filitas).

Esta rocas cajas han sido interesadas por intrusiones de diques máficos (diabasa y gabro) y secundariamente félsicos (pórfidos cuarzo-feldespáticos). Unas

rocas intrusivas máficas pueden ser contemporánea de las formaciones supra-crustales; otras parecen ser, desde observaciones de campo, de edad claramente más joven.

Los depósitos de Rosika y Coacia están conformados por las unidades litológicas que pertenecen al mismo ambiente geológico, lo que la hace diferente es la alteración y la mineralización la cual ocurren en zonas diferentes, como se muestra ilustrado en la figura N° 8.

El área de Rosika se encuentra ubicado al norte de la concesión Choco 10 y el área de Coacia se ubica al sur de Rosika. Están litológicamente definidas de base a tope por una unidad de flujos basaltos teíticos constituidos principalmente por unidades de flujos almohadillados (MB), con brecha, auto-brechas derivadas por rocas basálticas y intercalaciones de rocas volcanoclásticas máficas y basaltos fracturados in situ.

Hacia el tope en contacto tectónico se encuentran volcanoclásticas tholeíticas generalmente conformadas por conglomerados y brechas caóticas como flujos sin-sedimentario o epiclástico, consecuentes al apilamiento de unidades de flujo basalto, presencia local de arenisca arcósicas de composición basáltica, las cuales pueden representar facies dístales de deposición similar. (Basaltos inter-estratificados en Rosika). El contacto superior (con el SN) es gradacional y los dos tipos de roca ocurren intercalados en la secuencia calco-alcalina Volcanoclásticas calcoalcalino de grano fino a medio de composición andesítico-dacítica.

Por último un cuerpo intrusivo de gabro (GB) que cubre la secuencia de Rosika-Coacia, generalmente, de grano grueso en el centro de la unidad intrusiva a grano fino hacia el extremo.

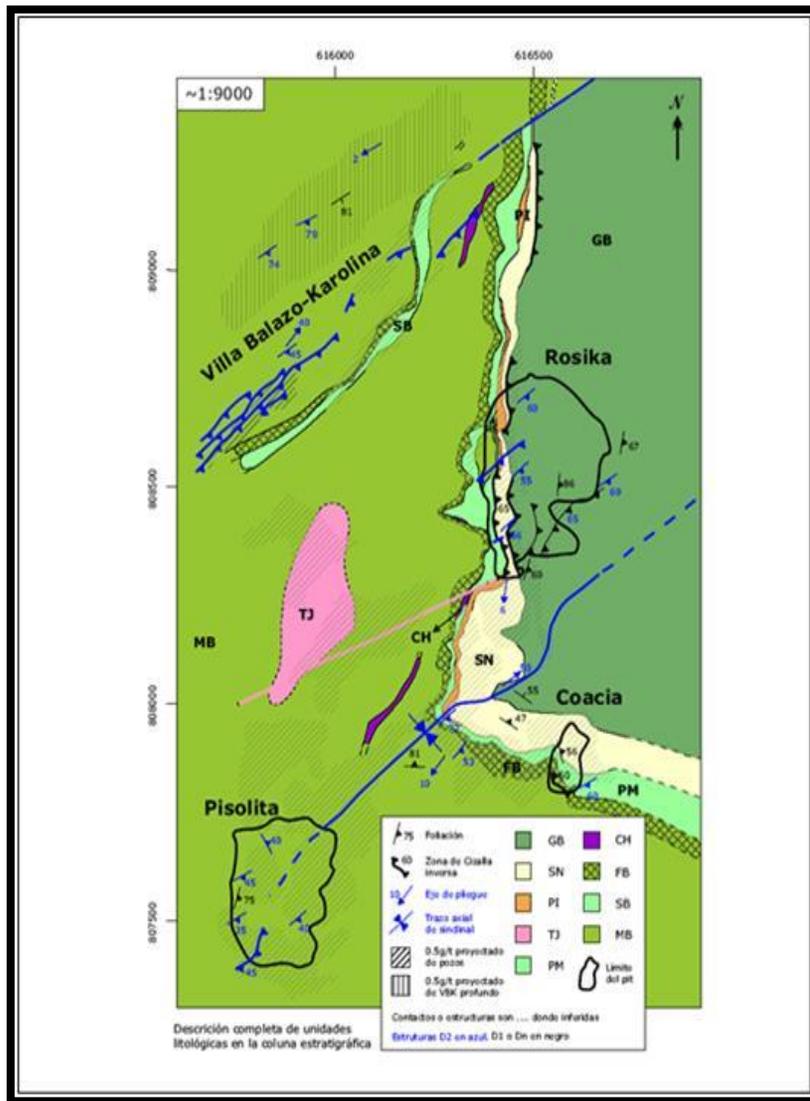


Figura N° 8 Ubicación de los depósitos pertenecientes a la Concesión Choco 10 (Unidad de Geología P.M.G., S.A. 2003).

El sector de Pisolita, situado al suroeste de Rosika, se encuentra compuesto por flujos basálticos toleíticos constituidos principalmente por unidades de flujos almohadillados, brechas hialoclásticas, auto-brechas, tobas intermedias y volcanoclásticas máficas y basaltos almohadillados hacia la base de la unidad.(ver figura N° 9)

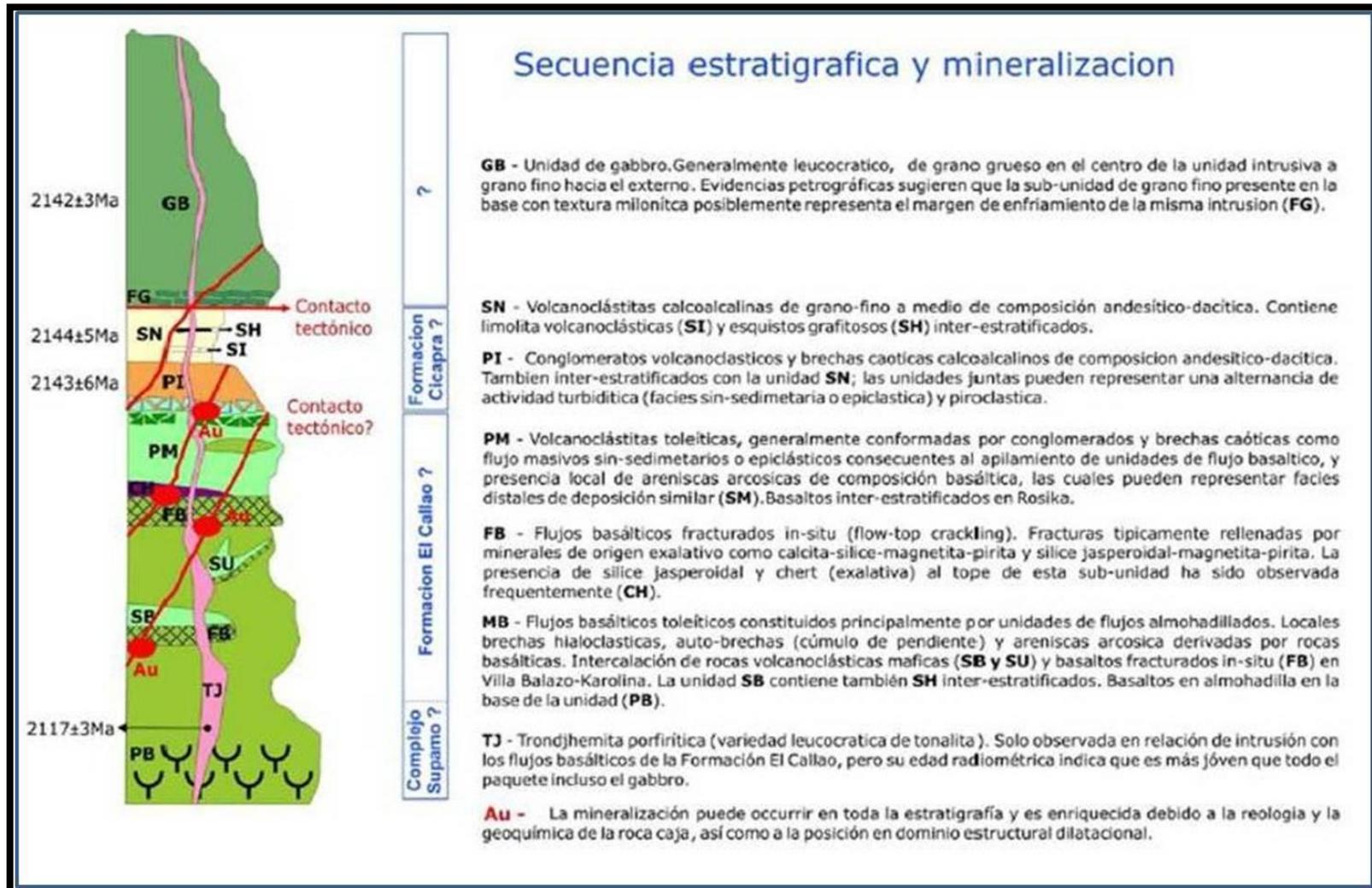


Figura N° 9 Columna Estratigráfica del Proyecto Choco 10 (Unidad de Geología P.M.G., S.A. 2003).

### **2.4.1. Supergrupo Pastora**

El Supergrupo Pastora constituye la secuencia supracortical en el CRV de Guasipati-El Callao, está representada por una unidad de rocas volcánicas esencialmente máficas en su parte inferior y por una unidad de rocas volcánicas félsicas y sedimentarias asociadas, en su parte superior. La unidad máfica se definió como Grupo Carichapo (formaciones Cicapra, Florinda y El Callao) y la félsica como Formación Yuruari.

2.4.1.1. Formación Florinda: corresponde a las rocas volcánicas ultramáficas de afinidad komatítica compuesta de basaltos almohadillados tholeítico-magnesianos a normales, intercaladas con rocas talco-carbonáticas, las cuales se identifican como peridotitos komatíticas. Algunas lavas magnesianas muestran textura espinifex. La Formación Florinda definida fue por Menéndez (1994) en Mendoza (2005) como equivalente a la parte inferior de la Formación El Callao y cuando esta última está ausente se localiza infrayacente a la Formación Cicapra.

2.4.1.2. Formación Cicapra: suprayace localmente a la Formación Florinda y presenta una litología de esquistos anfíbolíticos derivados de brechas y alternancia de niveles submarinos de basaltos komatíticos, tobas andesíticas, grauvacas, areniscas lodolíticas y areniscas conglomeráticas. Localmente se intercalan basaltos komatíticos y jasperoides recristalizados tipo chert, con óxidos de hierro y de manganeso, se encuentran tobas líticas, tobas brechadas y, aglomerados volcánicos. Geomorfológicamente ocupan área bajas y sus suelos son lateritas arcillosas color vino tinto.

2.4.1.3. Formación El Callao: se desarrolla en la región de El Callao, presenta más de 3000 metros de espesor y está litológicamente formada por casi exclusivamente lavas basálticas almohadilladas, bajas en potasio y altas en hierro, flujo de lavas andesíticas con un predominio transicional entre ambas basandesitas, con estructuras almohadilladas altamente espilitizada, con cantidades menores de brechas de flujo al tope levemente metamorfizadas, geomorfológicamente ocupa las colinas y montes más

altos (300 a 800 m.s.n.m) que meteorizan a suelos lateríticos muy arcillosos de color rojo intenso.

2.4.1.4. Formación Yuruari: la Formación Yuruari suprayace concordantemente a las formaciones El Callao y Cicapra. Corresponde a un volcanismo dacítico a riodacítico con lavas, brechas y tobas félsicas, derivados de epiclásticas y turbiditas, además de areniscas y limonitas feldespáticas de estratificación delgada.

En la parte inferior contiene filitas manganesíferas y grafiticas, lentejones alargados de cherts y niveles interlaminados de limolitas feldespáticas con filitas cloríticas, en esta formación se pueden observar diques y existencias de pórfidos de cuarzo y feldespatos en forma de intrusiones de emplazamiento posterior recortando al Grupo Carichapo, geomorfológicamente ocupa colinas bajas y sabanas con vegetación tipo chaparros, con suelos lateríticos de colores amarillentos a algo rojizos.

## **2.4.2. Distrito aurífero de El Callao**

Es el de mayor tradición y conocimiento de la Provincia Pastora. Allí fue descubierto oro por primera vez, quizás, hacia el año 1827. El Callao es el distrito aurífero más rico y famoso de Guayana con más de 300 vetas de cuarzo aurífero que han producido en su historia una cantidad mayor a 250 toneladas de oro.

Las mayores concentraciones de oro se producen en vetas de tipo hipotermales de cuarzo aurífero con bajo contenido de sulfuros (<5% en promedio) estas vetas en su mayoría están asociadas a zonas de cizalla y fallas. Tales zonas de cizalla en o próximas a la mineralización se caracterizan por la presencia de cherts, carbonatos magnesianos (más cercanos al depósito) y carbonatos ricos en FeO (en el depósito), como productos guías de alteración.

2.4.2.1. Secuencia litoestratigráfica: el cuadrilátero aurífero de El Callao presenta un interés minero estratégico como unidades de roca caja de los cuerpos mineralizados y

en particular de numerosas vetas de cuarzo aurífero, esta unidad consiste en rocas volcánicas diferenciadas, se pueden distinguir varios tipos de litologías:

-Lavas ultramáficas a máficas: se representan como coladas y lentejones alargados de komatitas o de basaltos con tendencia komatítica, los cuales tienen en su interior vetillas de clorita.

-Basaltos y andesitas: están constituidos por una mineralogía de recristalización metamórfica de grano fino, masivo color verde oscuro, compuesta por hornablenda, plagioclasas, clinozoisita, cuarzo secundario (5%) localmente, debido a la abundancia de los feldespatos y del cuarzo, la andesita tiene una composición más félsica a diorita. La hornablenda-actinolita está alterada en clorita y los feldespatos en caolín.

-Andesita: contiene abundante cantidad de carbonatos de color verde claro a gris, principalmente calcita en cristales individuales, en vesículas o en impregnaciones difusas.

-Tobas máficas y tobas con cristales: se encuentran algunos niveles de tobas de composición máfica e intermedia y también niveles de tobas con cristales, las cuales se presentan en intercalaciones dentro de rocas máficas.

-Intrusiones ígneas: la secuencia volcánica, contiene varios diques, sills y cuerpos de rocas ígneas de composición variable, entre las cuales podemos mencionar: los diques de diabasa o de gabro-anfibolíticos los cuales su emplazamiento está controlado por la estructura a escala regional, y los diques o intrusiones de pórfido cuarcífero consisten de feldespatos potásicos, plagioclasas, cuarzo, clorita, micas y sulfuros (pirita), la roca es por lo general de color gris, masiva, dura y de grano grueso.

2.4.2.2. Estructuración principal: la secuencia litoestratigráfica del Distrito Aurífero de El Callao presenta, una dirección Noreste con buzamiento hacia el Sureste, pliegues y zonas de fracturación y cizallamiento regional donde se ubican los principales yacimientos de oro, se distinguen dos zonas principales:

Zonas de cizallamiento dentro de un plano de estratificación: están definidas por la interfase de los flujos de lavas, estas zonas tienen el mismo rumbo Noreste (N 60° – 80° E), con buzamientos de 35° a 55° al Sureste.

Zonas de cizallamiento oblicuas: cortan la secuencia litoestratigráfica con rumbo Noreste y con buzamiento más fuerte 70° a 85° Sureste.

2.4.2.3. Mineralización: en el Cinturón de El Callao, se encuentran numerosos yacimientos de oro tanto en las lavas, en los diques o asociados a diferentes “Stocks” de pórfido-feldespático, diabasa y gabros de la Formación El Callao, actualmente en el Distrito aurífero de El Callao se conoce un solo tipo de mineralización aurífera asociada a vetas de cuarzo, las cuales se ubican en zonas esquistosas angostas formando corredores de cizallamiento o “Shear zone” que siguen o cortan la secuencia litológica.

A primera vista sin ningún control litológico bien definido, la mayoría de estas vetas mineralizadas conocidas encajan dentro de una secuencia volcano-sedimentaria y tienen una composición mineralógica más uniforme de cuarzo gris azul lechoso, carbonatos (calcita, siderita, ankerita), plagioclasa, clorita, moscovita, sericita, turmalina y también sulfuros principalmente pirita gruesa y fina, y oro libre o asociado con sulfuros, Guilloux (1997).

2.4.2.4. Principales zonas auríferas de El Callao: la zona de El Callao está formada por diferentes accidentes sobre los cuales se ubican los yacimientos auríferos como consecuencia del control litológico y estructural, el emplazamiento directo o indirecto de las mineralizaciones auríferas definen diferentes zonas alargadas de los yacimientos, en base a esto Guilloux (1997) en Mendoza (2005), resume que la mineralización en El Callao se localiza formando alineamientos con diferentes direcciones.

Los estudios aéreo-magnéticos realizados por la Compañía Hecla de Venezuela (Grupo AGAPOV, 2008) muestran varias tendencias de estos alineamientos principales en la zona de El Callao que se describen a continuación:

- Alineamiento Norte: con dirección Norte 70° - 80° Este de 8 – 10 Km, de longitud por 200 – 300 m, de ancho se constituye como el más importante e incluye la Mina Colombia, Mina San Luis, Mina Hansa y Mina Panamá, dentro de este corredor aparece el dique de Diabasa Laguna.
- Alineamiento Sur: formado por la Mina Unión, la Mina Sosa Méndez y la Mina Chile, este alineamiento tiene una dirección Norte 70° - 80° Este y un ancho de 250 m., y se extiende por una longitud de 15 Km.
- Alineamientos Norte-Sur: representando las fallas mineralizadas denominadas Gloria, Isbelia y Santa María y Minas como Corina, Remington, se constituyen como yacimientos de gran potencial aurífero.

## **2.5. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA**

La Empresa Promotora Minera de Guayana P.M.G., S.A. (PMG) es una Sociedad Mercantil constituida en Caracas a los 11 días del mes de mayo de 1988. PMG es arrendataria de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG), por las Concesiones mineras “Chocó 4 y Chocó 10” (las Concesiones), desde el 04 de febrero de 1994.

Las Concesiones, son de la clase primera, prevista en el artículo 174 de la Ley de Minas de 1994, para la exploración y subsiguiente explotación de oro aluvión y veta de Manganeso, Niobio, Tantalio, Molibdeno, Vanadio, Cromo, Níquel, Cobalto, Tungsteno, Oro, Cobre, Cinc, Plata y Estaño. Las concesiones fueron otorgadas por el Ministerio de Energía y Minas (“MEM”) a la CVG en la fecha 10 de mayo de 1993, siendo los respectivos títulos mineros publicados en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 4.578 Extraordinario de fecha 18 de mayo de 1993; y registrados por ante la Oficina Subalterna de Registro Público del Distrito Roscio del Estado Bolívar en fecha 15 de abril de 2003 bajo los números 45 y 47, respectivamente, del Protocolo Primero Tomo I, Segundo Trimestre del 2003.

Las Concesiones fueron arrendadas por CVG a PMG por un lapso equivalente al de la vigencia de las mismas y de sus posibles prórrogas, mediante documentos autenticados por ante la Notaria Pública Segunda de Puerto Ordaz, Estado Bolívar bajos los números 07 y 09 respectivamente, Tomo 55 de los libros de autenticaciones de esa Notaria. Dichos contratos de arrendamiento fueron registrados por ante la Oficina Subalterna de Registro Público del Distrito Roscio del Estado Bolívar en fecha 15 de abril de 2003 bajo números 44 y 45 respectivamente, del Protocolo Primero, Tomo I, Segundo Trimestre del 2003.

Un levantamiento geológico y geoquímico semi-detallado de suelos reveló una gran anomalía aurífera ( $> 100$  ppb Au) que se extendía por una superficie de aproximadamente  $1.500\text{ m} \times 1.500\text{ m}$ . PROMIVEN, teniendo como objetivo esta gran anomalía, inició un programa de perforación con Aircore y HQ3.

Se realizaron más de 1.200 pozos, principalmente Aircore, con una profundidad vertical promedio de 30 mts. Mediante dichas perforaciones se identificó la presencia de cuatro (4) zonas principales de mineralización en Chocó 10, denominadas: Coacia, Pisolita, Rosika Oeste y Rosika Este. El espaciamiento inicial de las perforaciones fue una cuadrícula de  $50\text{ m} \times 50\text{ m}$  de longitud, seguida de perforación con malla reducida de  $50\text{ m} \times 25\text{ m}$  y  $25\text{ m} \times 25\text{ m}$ . Las pruebas de validación en Coacia y Pisolita se hicieron con un espaciamiento de  $12,5\text{ m} \times 12,5\text{ m}$ . En total se hicieron alrededor de 50.000 mts de perforaciones exploratorias.

Cabe destacar, que en la zona de El Callao, Estado Bolívar se ubican varias operaciones minerales a nivel industrial, tanto de extracción como de procesamiento del mineral aurífero. Además de ellas, existen innumerables operaciones pequeñas explotadas por “mineros artesanales”, junto con aproximadamente 30 pequeñas plantas por gravedad, que, actualmente el gobierno nacional representado en la figura de C.V.G. Minerven y su departamento de Pequeña Minería trata de controlar. La minería es una actividad históricamente arraigada en esta zona, por lo que las áreas correspondientes a Chocó 4 y Chocó 10 no escaparon de las invasiones y afectaciones producto de las actividades desarrolladas por los mineros artesanales, que dejan en el área fuertes impactos sobre los recursos: vegetación, suelo, aguas y fauna silvestre. Ambioconsult (2003).

En la actualidad PMG, realiza actividades de exploración, explotación y procesamiento de oro a través del proyecto “Desarrollo Minero Chocó 4 y Chocó 10”, conformado por siete unidades de apoyo, mencionadas a continuación: Planta de Producción, Reservorio de Aguas, Laguna de Colas, Área de Minas, Escombrera, Infraestructura de Apoyo y Línea de Transmisión. La planta de procesamiento tiene una capacidad para procesar 6.000 toneladas/diarias, alimentada con material extraído de las minas Pisolita, Coacia, y Rosika, y actualmente arena de minas aluvionales provenientes de fuentes externas pero a su vez pertenecientes al grupo. El proyecto tiene previsto una vida útil de 9 años con producción 810.000 onzas de oro durante ese periodo. Además cuenta con un personal calificado y organizado para ejecutar sus actividades.

## **2.6. MISIÓN**

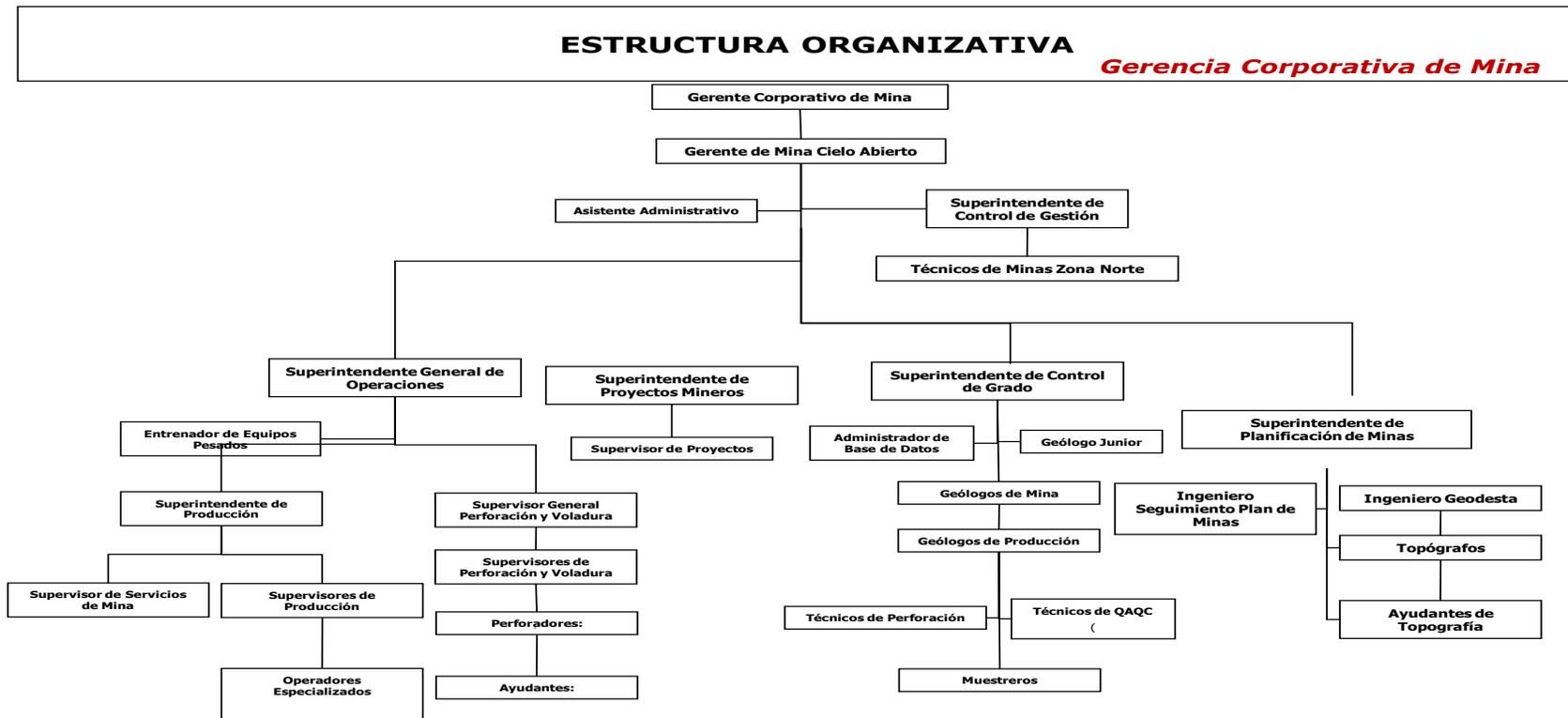
Intensificar las oportunidades obtenidas en Venezuela, para aumentar aún más las oportunidades de negocios, haciendo de a la organización la más efectiva en cuanto a liderazgo y la empresa de menor costo dentro de la industria minera.

## **2.7. VISIÓN**

Promover el desarrollo minero paralelamente a la seguridad minera, industrial y ambiental a nuestros trabajadores y comunidades adyacentes al área de ubicación de los derechos mineros beneficiarios del Grupo.

## 2.8 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LA UNIDAD DE MINAS

Se presenta el organigrama que actualmente rige la Unidad de Mina de la empresa PMG. La cual se encarga de la planificación, control y extracción de mineral de las distintas fosas.



Organigrama de la Unidad de Minas

## 2.9. CADENA DE VALORES

La cadena de valores es la estructura de trabajo que sigue la empresa P.M.G. para realizar el proceso de extracción el cual se ve en la figura N° 10. La cadena de valores se realiza de forma continua y en el orden determinado.

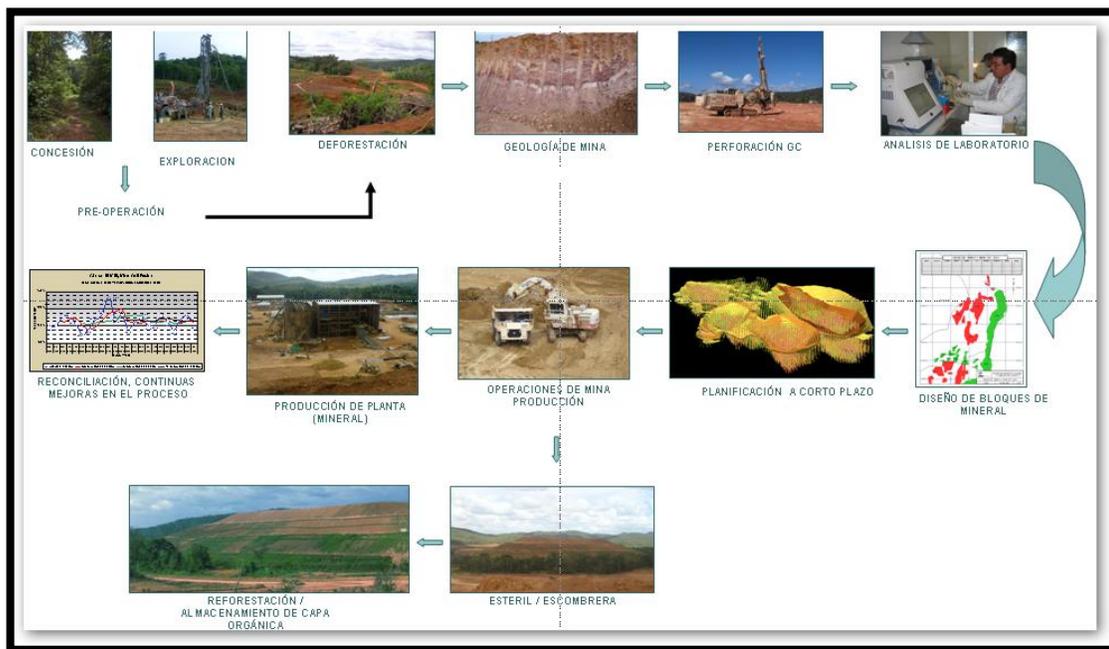


Figura N° 10 Cadena de Valores Promotora Minera de Guayana

### 2.9.1. Concesión y Permisología

Es el departamento que se encarga en tramitar los diferentes documentos necesarios para la obtención y mantenimiento de las concesiones y permisos de explotación. A demás de encargarse de mantener las concesiones, tramitan todos los permisos necesarios (permisos de explotación, sanitarios, almacenamiento y uso de explosivos, almacenamiento y uso de químicos, entre otros) para que el proceso de exploración, extracción y procesamiento se mantenga activo.

Rigiéndose según la ley de minas de 1999, se encargan de realizar el pago de impuestos por arrendamiento, explotación y de generar los diferentes informes a entregar en los entes gubernamentales.

### **2.9.2. Exploración**

El departamento de exploración se encarga de la búsqueda, definición y modelamiento de los recursos minerales en las concesiones pertenecientes a la empresa.

La búsqueda de recursos se realiza mediante análisis aeromagnéticos con el fin de encontrar las anomalías presentes. Una vez ubicadas las anomalías se procede a la realización análisis geoquímicos y de perforaciones que pueden ser tanto diamantinas como de aire reverso. Las perforaciones se realizan inicialmente con una malla de 100x100 con profundidades de hasta 600 metros para luego realizar mayas en las zonas de interés de 50x50 y de 25x25.

El departamento de exploración es el encargado de realizar el modelo de recursos en base al cual trabaja la planificación a largo plazo.

### **2.9.3. Deforestación**

La deforestación se realiza una vez el departamento de planificación haya definido las zonas a utilizar y se realiza mediante el contrato de cooperativas.

El proceso de deforestación debe tomar en cuenta las maderas aprovechables que se encuentren en el bosque, por ello se miden los árboles y todos aquellos cuyo diámetro sea mayor a 25cm se deben tumbar, rolar y almacenar para que luego el Ministerio de Ambiente disponga de de la madera. El resto del bosque y los primeros 25cm de suelos son removidos mediante tractores para ser depositados en patios de almacenamiento para su futura reutilización

### **2.9.4. Geología De Mina**

Con el fin de agregar un mayor detalle a los modelos de reservas, el departamento de geología de mina se encarga de dirigir la recolección de muestras a través del método Grade-Control (Control de Tenores) y digitalizar los bloques minerales con la herramienta informática conocida como “Datamine”.

### **2.9.5. Perforación Grade-Control**

El Grade-Control o control de tenores busca diferenciar eficientemente el mineral que se encuentra sobre la ley de corte y aquellas que se encuentre por debajo o sea estéril. El Grade-Control se lleva a cabo mediante perforaciones con un equipo roto percutor de martillo en cabeza el cual impulsa aire en reversa para facilitar la toma de muestra.

Cada metro se obtiene una muestra, la cual se cuartea para obtener representativa de aproximadamente 2kg la cual es enviada al laboratorio para realizar los análisis que luego se describirán; de cada muestra el geólogo encargado debe realizar un estudio mineralógico donde se describa las diferentes características que presente la muestra, entre ellas el estado de alteración (meteorización), contenido de pirita, contenido de cuarzo y minerales constituyentes.

### **2.9.6. Análisis De Laboratorio**

Las muestras tomadas en el proceso de Grade-Control son analizadas mediante ensayos pirometalúrgicos para determinar su contenido en oro (tenor) y para las muestras que muestran un alto tenor, se realizan ensayos gravimétricos para detallar un poco más la información acerca de la roca o mineral contenedor.

### **2.9.7. Diseño De Bloques De Mineral**

Una vez recopilada la información proveniente de cada perforación y de los análisis realizados en el laboratorio, se procede a la creación de un archivo de pozos con el cual se procede a realizar la interpretación geológica de las estructuras y cuerpos mineralizados para definir la forma y los límites de los mismos, los cuales se representan en un modelo en 3D. Los sólidos obtenidos se rellenan utilizando un modelo de bloques, a partir del cual se diseñan los bloques minerales; con el proceso Grade-Control se mejora la predicción del tonelaje y de los tenores a excavar lo cual facilita y mejora la planificación.

### **2.9.8. Planificación a Corto Plazo**

La planificación a corto plazo es la encargada de diseñar las secuencias de explotación en las distintas fosas de la mina con el objetivo de alimentar a planta o almacenar en patios un tonelaje de mineral con un tenor determinado. Para ello trabajan con el modelo de recurso

desarrollado en la etapa anterior y el software Datamine para generar los diseños que deberán seguir las distintas operaciones de minas para cumplir las metas exigidas.

### **2.9.9. Operaciones de Mina/Producción**

El departamento de operaciones de minas es el encargado de distribuir los equipos en los distintos frentes de la mina buscando el mejor y mayor uso de la disponibilidad física de los equipos.

Las operaciones de mina se pueden separar en dos grupos con objetivos bien definidos, producción y auxiliares que se describen a continuación.

*Producción:* es el grupo encargado del desarrollo de la mina mediante la continua extracción de estéril y mena. El grupo de producción comprende las actividades de carga, acarreo, perforación y voladura.

Las actividades de carga se realizan con palas frontales y retroexcavadoras; el proceso de acarreo mediante Torontos y Rockeros; la perforación con perforadoras rotopercutoras con martillo en cabeza y la voladura con carga a granel.

*Auxiliares:* es el grupo encargado de mantener la continuidad de la producción manteniendo en buen estado las vías, drenajes, canales, señalizaciones entre otras cosas en la mina.

Las actividades auxiliares se realizan con un conjunto de equipos entre los cuales se pueden citar patroles, tractores, pala frontales entre otros.

### **2.9.10. Producción De Planta**

En la planta de concentración de la empresa Promotora Minera de Guayana, se realiza un proceso de carbón activado (CIP) con carbón en pulpa para realizar la recuperación del oro a partir del mineral.

Para realizar la concentración se utiliza un proceso de conminución que implica una trituradora de mandíbula y dos molinos (un molino de bolas y uno semiautógeno con bolas) en los cuales comienza la adición del cianuro necesario para el proceso de lixiviación.

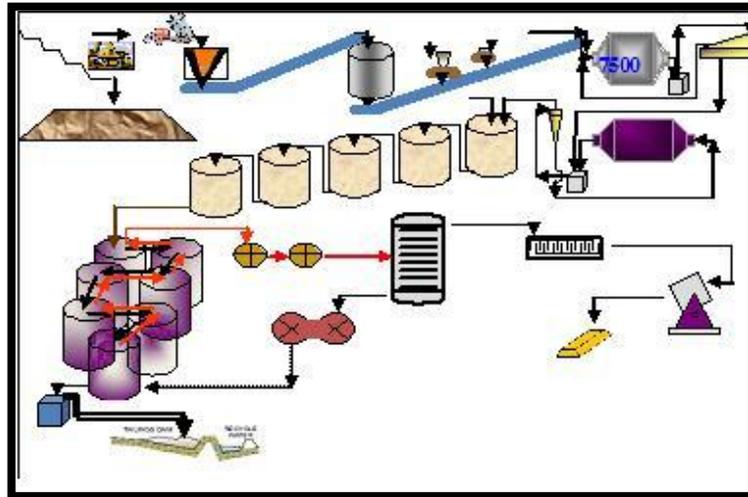


Figura N° 11 Esquema del Proceso de planta (Promotora Minera de Guayana)

El proceso de lixiviación se realiza en 6 tanques (ver figura N°11) en los cuales la pulpa se encuentra en constante movimiento y adición de oxígeno para acelerar dicho proceso; luego la pulpa pasa a 7 tanques donde entra en contacto con el carbón. El carbón es el encargado de recolectar las partículas de oro disueltas en la pulpa para luego ser lavado en un medio ácido; el líquido resultante del lavado es expuesto a unas celdas electrolíticas donde se realiza la concentración final antes de pasar al proceso de fundición.

### 2.9.11. Reconciliación Continúa.

El proceso de reconciliación, permite controlar la calidad de la información en los diferentes niveles y etapas del proceso productivo, examinando desde el modelo de recurso a mina, de mina a planta, de fundición o refinera hasta las ventas finales.

El proceso de reconciliación permite medir el rendimiento de cada etapa o ciclo mostrando que áreas necesitan mejoras y permite la evaluación de cada optimización realizada, la continua data generada aumenta la precisión de los pronósticos realizados al momento de plantear los objetivos y los alcances en el tiempo.

Un sistema de reconciliación se inició en marzo de 2006 para recoger los datos que permiten la medición del rendimiento a través de los recursos en los procesos de molino de las minas. Al medir el rendimiento de cada etapa en el ciclo, las áreas que requieren mejoras se pueden identificar y optimizar. Los riesgos pueden reducirse mediante retroalimentación de los

resultados de la reconciliación en los modelos de recursos para mejorar la confianza en las predicciones.

En consonancia, el sistema de reconciliación se requieren por las siguientes razones:

- **Control de Calidad:** el proceso de presupuestación y previsión es fundamental para el negocio, y cada pronóstico se basa en una predicción. Reconciliaciones prácticas permiten el control de calidad en los insumos para el proceso de presupuestación, lo que permite el sitio para mejorar la exactitud de los pronósticos.
- **Mediciones:** la realidad y el permitir que las mediciones físicas de evaluación de los sitios aporten rendimiento. Estos incluyen toneladas, categoría y derivados ya sea de metal obtenido a partir de modelos, medidas y proceso de flujo de muestreo. La definición y comparación de estas mediciones forman parte del proceso de reconciliación.
- **Mejora Continua:** mediciones precisas sobre los diferentes aspectos de los recursos a las Minas a cualquiera sea el proceso permite la mejora continua del emplazamiento. Cuantificar con precisión parámetros tales como la dilución prevista, la minería de dilución, recursos y grado de control para el modelo de rendimiento, colas pérdidas, la pérdida de mineral, etc. proporciona el marco para la mejora continua.

Esto tiene un impacto directo a la parte inferior de los costes límites en él la producción. La mina Choco 10 ha puesto en marcha un sistema para conciliar a través de recursos minerales para todos los procesos en forma mensual, trimestral, anual o la vida de las minas. Estas medidas de producción mensual incluyen:

- **Recursos:** el modelo de recursos es la base inicial para la inversión Gold Fields y posteriormente Rusoro. El rendimiento de este modelo tiene que ser medido para la vida del proyecto.

- Modelo actual de recursos: un modelo actualizado publicado anualmente para reflejar la mejora de comprensión de los yacimientos, que incorpora todos los nuevos datos antes del momento de publicación.
- Modelo de Control de Grado: el modelo de control de grado se actualiza de manera sistemática para la incorporación de todos los grados de control de perforación, exploración y perforación a cielo abierto de datos cartográficos. El modelo de control de grado constituye la base para el diseño de bloques de mineral a discriminar a partir de residuos de mineral, minerales de bajos y altos grados, y predecir toneladas y grado.
- Diseño de Control de Grado: los bloques de mineral son diseñados a partir del Modelo de Control de Grado. Hasta la fecha un banco de mina se mide a una altura de cinco metros, con la extracción del banco se producen dos sub-bancos de 2,5 metros. Los bloques de mineral están diseñados a mitad de camino entre cada contacto en material meteorizado. Una vez que las voladuras de roca fresca sean más comunes, esto será tomado en cuenta.
- Reivindicación de la producción inicial: estimación inicial del mes con el tonelaje de producción derivados de registros de viajes diarios de camiones. El tonelaje se ajustará con el factor de volumen para cada camión. La calificación se deriva del diseño de control de grado incluyendo cualquier dilución.
- Reivindicación de la Producción Final: la conciliación final de la producción tiene en cuenta la encuesta de existencias y los volúmenes entregados de toneladas, este último factor por el factor de carga y su relación con el mineral arrancado de la mina (ROM). El tonelaje es equilibrado con el fin de definir existencias en la “fosa” una vez por trimestre.
- La producción real: asignados cuando concilie la producción de la fábrica de toneladas entregadas y grado. El tonelaje es igual a la Producción Final conciliada. La producción

real de Grado se calcula a partir del llamado Factor de Mina, de esta forma se garantiza que la mina y el molino números son consistentes, esta última la que se considerará definitiva.

- Las entregas de mineral a moler: el material entregado al molino de mineral a moler almohadillas (Tolva Principal, Tolva Auxiliar).
- Molino de alimentación: el total de material que alimenta al molino autógeno.
- Presupuesto de entrega: estimaciones de toneladas minadas entregadas y el grado del mineral arrancado de las mina en los procesos de planta.

Existen numerosos factores en el entorno de la minería que pueden afectar a la diferencia entre los modelos y producción final. Previsto y planificado-dilución y pérdida de mineral, el almacenamiento y las cuestiones de minería, los problemas son otros tantos factores no incluidos en los modelos de recursos, que son impuros. Si existe una variación entre los modelos de recursos y producción final es importante comprender las razones por las que varían y se efectúen las adaptaciones pertinentes a las áreas apropiadas. En Choco 10, se requiere que una serie de reconciliaciones se desempeñen de manera tal que se registren mediciones de cada fuente de mineral en forma mensual, trimestral o anualmente.

Estas mediciones se calculan a fin de evaluar la eficacia de los recursos y el proceso de minería, demarcado este ultimo en la operatividad de quienes laboran en la mina.

Gracias a esto se cuenta actualmente con un Control de Tenores, el cual es considerado como parte esencial del proceso productivo. El propósito principal de control de tenores es proveer una discriminación eficiente del material por encima de la ley de corte y suministrar una predicción confiable del tenor del material a ser minado. La interpretación del mineral basado en una muestra de pobre calidad resultará en una clasificación errada del mineral y estéril, y por consiguiente pérdidas significativa en la producción. Actualmente se implementa la perforación de aire en reserva para control de tenores, esta fue implementada en Chocó 10 a partir de Mayo de 2005 en los depósitos Coacia, Pisolita y Rosika, para delinear de mejor forma los cuerpos mineralizados.

Utilizando este archivo de pozos se procede a realizar la interpretación geológica de las estructuras y cuerpos mineralizados para definir la forma y los límites de los mismos, los cuales se representan en un modelo en 3D. Este es uno de los métodos más precisos para definir con mayor exactitud contactos geológicos en tres dimensiones. Los sólidos obtenidos se rellenan utilizando un modelo de bloques, a partir del cual se diseñan los bloques de mineral cuyo propósito principal es discriminar el mineral del material estéril subdividido según la ley de corte económico que ha sido definida por planificación minera. Al evaluar el modelo de control de tenores dentro de los bloques de mineral, se puede predecir las toneladas y tenores a ser excavadas, y de esta manera tener mejor control de la alimentación de la planta.

Con la ayuda de ese modelamiento y la demarcación en superficie de un bloque de mineral se tiene la opción en campo de realizar voladuras si cara libre, ayudando un poco el trabajo del explosivo en la masa rocosa y evitando en gran parte la dilución del material de mina. Seguidamente, se procede a la extracción del material utilizando un método de minado selectivo que ha sido recientemente implementado en la mina de oro Chocó 10; consiste en diseñar los bloques de mineral utilizando dos polígonos, el primero en la cresta y el segundo en el pie del cuerpo mineralizado.

#### **2.9.12. Estéril/Escombreras**

Todo mineral que no cumple con el tenor de corte es enviado para las escombreras en las cuales se dispone del mismo tratando de conformar una pila que simule la forma de una montaña. Las escombreras siguen distintos diseños de construcción basados en el mejor aprovechamiento del espacio, la calidad del suelo sobre la cual se va a depositar el material y el ángulo de reposo del mismo.

En la empresa se pueden observar escombreras con un ángulo de reposo de  $60^\circ$  con vías de inclinación de  $8^\circ$  y 10 a 30 metros de ancho (según sea el equipo de carga que va a transitar en ellas) creadas bajo el método de vertido interno para ser luego vaciado por los taludes con un tractor.

### **2.9.13. Reforestación/Almacenamiento De Capa Orgánica**

La reforestación se realiza en base a planes quinquenales que buscan una recuperación anual próxima a 10 hectáreas de diversas zonas de la mina.

La empresa posee un vivero en el cual se cultivan especies autóctonas de rápida adaptación a los medios en cuales van a ser expuestas. Entre esas especies tenemos el Cartan, el Araguaney, el Caru Caru, la Ceiba, el Samán y la Lucadema entre otros (las especies nombradas tienen la características de nutrir la capa orgánica con elementos nitrados que enriquecen y dan la características de suelo.

La reforestación comienza con un reacondicionamiento de la zona a recuperar para luego colocar la capa orgánica y plantar las especies cultivadas en el vivero, tres meses después se desarrolla un análisis de supervivencias para evaluar las plantaciones realizadas anteriormente y realizar, en caso de que sea necesario, una replantación de las especies; la reforestación culmina con una serie de tratamientos silvoculturales que garanticen el crecimiento de la flora dentro de las áreas a recuperar.

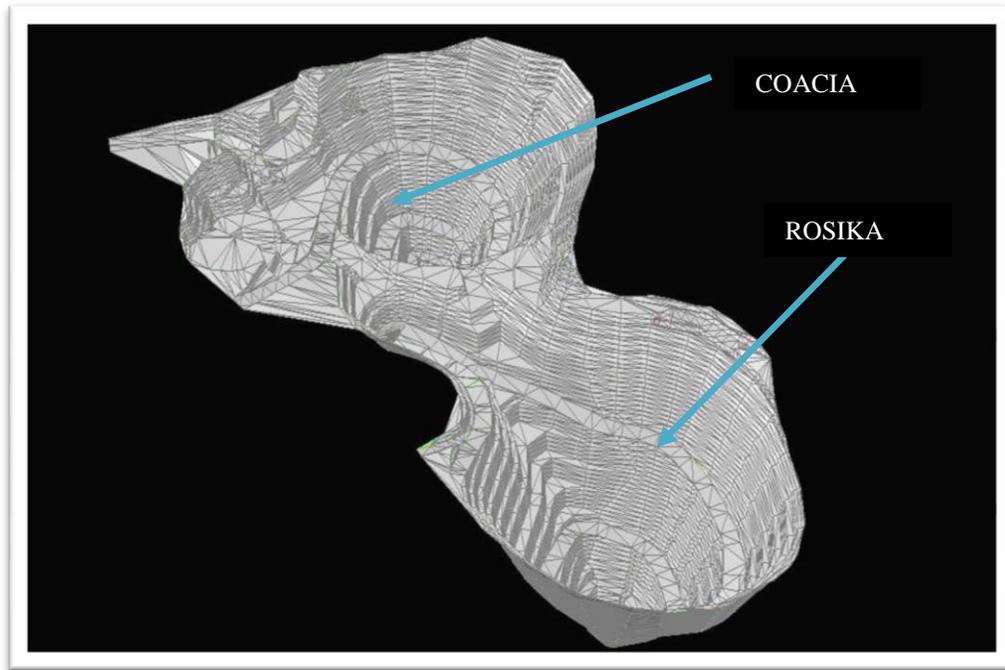
El almacenamiento de la capa orgánica se realiza en las zonas de fácil acceso previamente estudiadas y demostrada la ausencia de mineral aprovechable con una topografía adecuada y próxima a la futura zona de recolocación

## **2.10. PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA MINA**

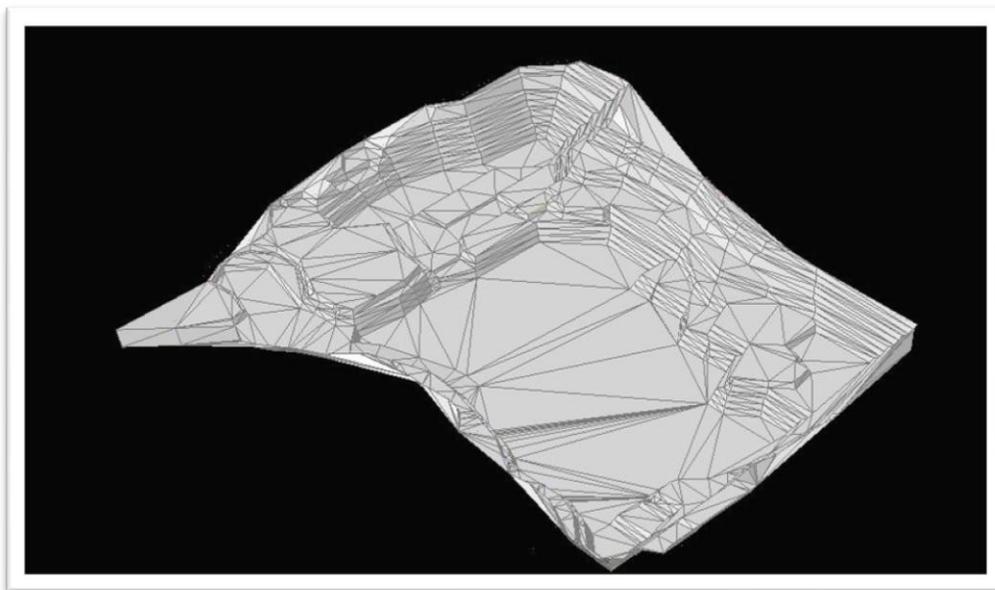
La mina con el fin de maximizar la producción, optimizar la seguridad y minimizar el impacto ambiental. Se consideran parámetros operativos: perforación y voladura, manejo de estéril. Cada proceso requiere de diseños específicos, enmarcados dentro de los límites de explotación, los cuales son: el largo, el ancho, la profundidad, la altura de banco y la estabilidad del talud, este último debe ser acorde con los requerimientos geotécnicos del tajo.

### **2.10.1. Límites de la Explotación a Cielo Abierto**

Los límites de explotación de la concesión choco 10 que lleva la empresa PMG se pueden observar en las figura N°s 12 y 13.



**Figura N° 12 Límites de Coacia y Rosika (Promotora Minera de Guayana)**



**Figura N° 13 Límites de Pisolita Norte y Sur (Promotora Minera de Guayana)**

### 2.10.2. Diseño de los Taludes de la Fosa

Una vez realizados los estudios geotécnicos se determinó que para el yacimiento Rosika los parámetros mostrados en la tabla N°4 son los más convenientes para esta mina.

Tabla N° 4 Parámetro de diseño de los Taludes

<b>Altura del banco de trabajo por encima de nivel 180</b>	<b>m</b>	<b>10</b>
<b>Alturas del banco de trabajo por debajo del nivel 180</b>	m	20
<b>Angulo de talud</b>		55°
<b>Angulo final</b>		65°
<b>Densidad de la Saprolita</b>	gr/cc	1,87
<b>Densidad de la Roca Transición</b>	gr/cc	2,6
<b>Densidad de la Roca Fresca</b>	gr/cc	2,88

### 2.10.3. Escombreras

Para el diseño de las escombreras, se fijó una altura entre niveles de 20 metros y ancho entre terrazas variables de manera que el diseño de la escombrera asemeje a una montaña, con un ángulo general de 22 grados.

Este diseño particular de la escombrera ayuda cumplir de esta manera con lo establecido en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) que la empresa anualmente debe llevar cónsono a lo establecido ante el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINPPAM) en cuanto a la reforestación y recuperación de las zonas boscosas.

Para la rotura de la roca se realizan dos operaciones básicamente: la penetración (perforación) y la fragmentación (voladura) de la roca. La primera por medio de la cual se realiza un hueco o corte, generalmente por medios mecanizados, hidráulicos o térmicos, con la finalidad de: introducir explosivos dentro de los huecos u otros propósitos, lograr la apertura de un túnel, galería o pozo, para extraer un mineral de tamaño y forma específicamente deseados, etc. La segunda busca fragmentar y desplazar grandes masas de material, convencionalmente mediante energía química, hidráulica, entre otras.

## **CAPÍTULO III.**

### **BASES TEORICA.**

#### **3.1. PERFORACIÓN**

##### **3.1.1. Principio de Perforación**

Para la rotura de la roca se realizan dos operaciones básicamente: la penetración (perforación) y la fragmentación de la roca (voladura). La primera se realiza a través de un orificio o corte, generalmente por medios mecanizados, hidráulicos o térmicos, con la finalidad de: introducir explosivos dentro de los mismos u otros propósitos, lograr la apertura de un túnel, galería o pozo, para extraer un mineral de tamaño y forma específicamente deseados, etc. La segunda busca aflojar y fragmentar grandes masas de material, convencionalmente mediante energía química, hidráulica, entre otras.

Antes de entrar en el campo de los explosivos y del diseño de las voladuras en la explotación a cielo abierto, es necesario desarrollar los conceptos de perforación de las rocas para entender los mecanismos que se llevan a cabo.

Existen varios métodos de perforación de las rocas, los cuales pueden ser clasificados de diversas maneras en función de ciertas características. De acuerdo con los parámetros de los equipos de perforación: dimensión del barreno, método de montaje del equipo de perforación y fuente de energía. Por otro lado, Hartman (1987) propone los métodos de acuerdo con el tipo de ataque: mecánico, térmico, hidráulico.

Los sistemas de perforación más utilizados en la minería subterránea metálica, se ubican dentro del ataque mecánico, el cual se basa en la utilización de energía mecánica a la roca por medio de dos esquemas básicos: acción percusiva (percusión) o acción rotativa (rotación). Combinando los dos métodos se tienen híbridos, tales como, la roto-percusión. Las que se describirán a continuación.

### 3.1.2. Tipos de Perforación.

#### Perforación por Percusión

El componente fundamental de la perforadora es el pistón, el cual empujado hacia delante golpea la culata de la barra, la energía cinética del pistón se transmite desde el martillo hasta el elemento de corte de la barra de perforación, a través del varillaje, en forma de onda de choque (ver figura N°14). El desplazamiento de esta onda se realiza a alta velocidad y su forma depende de las características de diseño del pistón.

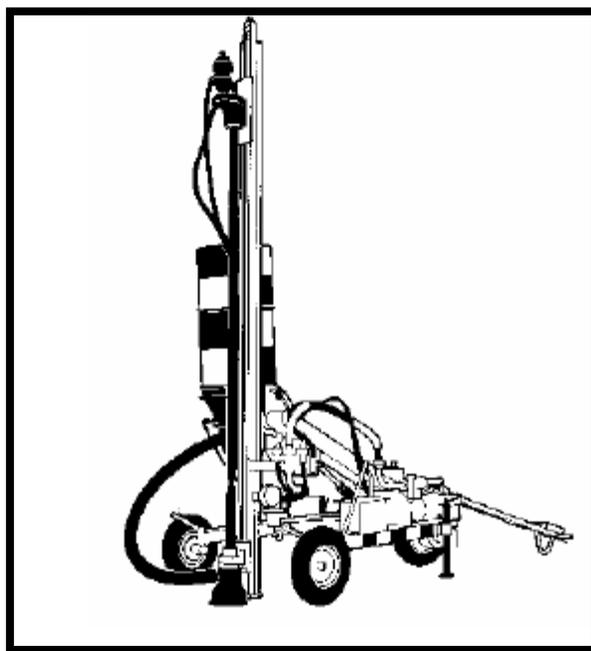


Figura N° 14 Carro Perforador por Percusión (Freites 2002)

La onda de choque se desplaza hasta alcanzar la broca o elemento de corte de la barra de perforación, una parte de la energía se transforma en trabajo haciendo penetrar el útil y el resto se refleja y retrocede a través del varillaje, produciendo calor y desgaste de las roscas. La medición de la eficiencia en la transmisión de la energía es muy difícil y depende de varios factores, tales como: el tipo de roca, la forma y dimensiones del pistón, las características de la sarta de perforación, el diseño de la broca, etc.

Dependiendo del equipo de perforación utilizado se obtienen mejores transmisiones de energía. En estos sistemas de perforación, la potencia de percusión es el parámetro que más influye en la velocidad de penetración.

### **Perforación por Rotación**

La perforación por rotación imparte dos acciones básicas por medio de la broca a la roca: empuje axial y torque. La energía se transmite a la boca a través de un tubo de perforación que gira y presiona las brocas contra la roca. Los elementos cortantes de las brocas, generan entonces una presión sobre la roca que llega a producir la rotura de la misma. Tiene como misión hacer que la broca actúe sobre distintos puntos de la roca en el fondo del barreno.

### **Perforación por Roto - Percusión**

El principio de perforación de estos equipos se basa en el impacto de una pieza de acero (pistón) que golpea a un útil que a su vez transmite la energía al fondo del barreno por medio de un elemento final (broca). Los equipos rotopercutivos se clasifican según donde se encuentre colocado el martillo: en cabeza o en fondo.

La perforación por rotopercusión se basa en la combinación de las siguientes acciones: percusión y rotación. La percusión se basa en los impactos producidos por el golpeteo del pistón originan unas ondas de choque que se transmiten a la boca a través del varillaje (en el martillo en cabeza) o directamente sobre ella (en el martillo de fondo) (ver figura N°15). Mientras que la rotación consiste en hacer girar la broca para que los impactos se produzcan sobre la roca en distintas posiciones.



**Figura N° 15 Perforadora Rotopercutiva con Martillo en Fondo (Manual CM-785 Atlas Copco)**

## **Perforación Automatizada**

La automatización se ha vuelto el eslogan de los mejoramientos de tecnología minera. Mientras los ingenieros en mina alrededor del mundo intentan conseguir la automatización total en la minería a cielo abierto, descubren las variables específicas de cada lugar, que exige a las máquinas pensar y resolver problemas. A menudo esas variables se vuelven apiladoras cuando se considera la operación completa. Para algunos procesos repetitivos que requieren un rendimiento constante, tal como la perforación por voladura. Actualmente esta tecnología mejora a pasos agigantados, con los aportes de diferentes especialistas.

El sistema de Control por Radio Automatizado Avanzado del Vector para Perforadora Giratoria (Ardvarc) es uno de estos sistemas. Recientemente ha ganado la atención del negocio minero metálico y está atrayendo más atención a la parte de extracción de carbón del negocio.

El sistema tiene tres configuraciones. Ardvarc es el sistema básico seguido por Ardvarc con One-Touch y Ardvarc con Auto Propel. Ardvarc básico es un sistema de manejo de perforación que proporciona a los usuarios datos de producción, datos de la condición de la máquina y posicionamiento GPS. El sistema auto-perforación brinda todos los datos y funcionalidad del sistema de administración de datos con el control de perforación One-Touch (de un toque). El sistema Auto-Propel (autopropulsión) combina un sistema de propulsión y posicionamiento automático, y una opción para sistema con capacidades de operación autónoma con un conjunto "One-Touch".

Actualmente, pocas perforadoras están usando el sistema Auto-Propel. Más de 25 perforadoras han sido equipadas con sistemas "One-Touch" en todo el mundo. Aunque todas sus aplicaciones han sido en minas de cobre en Arizona, Indonesia y una versión anterior en Chile, otras minas metálicas y algunos operadores de carbón han expresado un interés debido a que el gran beneficio de este sistema es una mejor fragmentación y aumentos de productividad del 20% al 30% desde el punto de vista minero metálico, pero tenemos lo consideran simplemente por el aspecto de la seguridad al trabajar en faenas remotas cerca de taludes altos. La operación remota de los equipos permite al operador acercarse al pie o al borde del talud sin preocuparse si hay alguna falla.

## **3.2. VOLADURA**

### **3.2.1. Explosivo**

Basados en las características de los explosivos, se podría definir los explosivos como: "Sustancias químicas, líquidas, sólidas, gaseosas o mezclas de ellas; las cuales por acción de calor, roce, chispa, impacto o combinación de ellos, son iniciadas. Luego de su iniciación, se desarrolla un proceso de detonación que libera, violentamente, a altas temperaturas, grandes cantidades de gases que se expanden rápidamente, generando elevadas presiones y esfuerzos que afectan el medio que lo rodea". Gil (2001)

En las voladuras comerciales, la energía liberada por la detonación de los explosivos, produce cuatro efectos básicos: fragmentación de la roca, desplazamiento de la roca, vibración del terreno y onda expansiva.

### **3.2.2. Propiedades de los Explosivo.**

Cada explosivo tiene ciertas características específicas o propiedades. En este capítulo se revisará lo concerniente al proceso de detonación de un explosivo, así como las propiedades más importantes de los mismos y como son medidas. Estas propiedades son:

- Velocidad de detonación
- Densidad
- Presión de detonación
- Potencia
- Resistencia al agua
- Sensibilidad
- Emanación de Gases
- Inflamabilidad
- Estabilidad química
- Balance de oxígeno

## **Velocidad de detonación**

Es conocida como la rapidez a la cual viaja la onda de detonación a través de una columna de explosivos, siendo ésta igual o mayor que la velocidad sónica del material y constituye una de las variables más importantes para el cálculo de la presión de detonación de un explosivo. Muchos factores afectan la velocidad de detonación, dentro de los más importantes citaremos al tipo de producto, diámetro, confinamiento, temperatura y cebado.

Un concepto importante de conocer para los explosivos es el grado de confinamiento, el confinamiento de un explosivo aumenta su velocidad de detonación y reduce el diámetro crítico; según el tipo de explosivo, el grado de confinamiento puede afectar la velocidad del explosivo tanto como el aumento del diámetro de la columna.

## **Densidad**

La densidad de un explosivo es una de las propiedades más importante a considerar en el momento de diseñar una voladura; el conocimiento de la misma es necesario para el cálculo de huecos de cualquier tamaño con el óptimo factor de carga y distribución de la misma.

Consiste en la comparación de la densidad del explosivo con la densidad del agua y se expresa en unidades de gr/cc. La densidad de la mayoría de los explosivos comerciales se encuentra en un intervalo de 0,8 gr/cc hasta 1,6 gr/cc Gil (2001). En general, los explosivos ensacados y aquellos a granel, productos de nitrato de amonio y combustibles, son de baja densidad y se encuentran en el rango desde 0,8 gr/cc a 1,15 gr/cc; los explosivos encartuchados tales como los acuageles o dinamitas, son de más alta densidad y se encuentran en el rango de 0,90 gr/cc a 1,35 gr/cc. Es importante destacar que en el momento de cargar los huecos de la voladura, la densidad de los explosivos sufre un aumento al comprimirse, debido al peso del mismo o en función del método de carga utilizado, esta nueva densidad es denominada densidad de carga y varía de acuerdo al tipo de explosivo desde un 10% hasta un 25% de la densidad original. Gil (2001).

El aumento excesivo de la densidad de un explosivo puede ocasionar que éste no detone. Esta medida de densidad se denomina normalmente como densidad crítica, y es muy común en los explosivos pulverulentos utilizados en huecos muy profundos o con alta presión hidrostática; es por ello que a grandes profundidades con fines geofísicos o de exploración, se empleen explosivos en envases especiales.

### **Presión de detonación**

Considerada como la presión generada en la zona de choque, al frente de la zona de reacción en el proceso de detonación. Cuando un explosivo detona, esta presión es liberada instantáneamente en una onda de choque de muy corta duración, proporcionándole al explosivo una propiedad denominada "brisance", lo cual no es más que el efecto de corte o fractura que produce el explosivo, instantáneamente sobre algún elemento. Este brisance también es denominado poder de fracturamiento. La presión de detonación es una función de la densidad, la velocidad de detonación y la velocidad de partícula de un explosivo ( $1/4$  de la velocidad de detonación).

### **Potencia**

El término potencia se comenzó a utilizar con la aparición de la dinamita, con el cual se definían sus diferentes grados. La primera dinamita se fabricó absorbiendo la nitroglicerina en kieselguhr (o tierra de diatomeas), diciéndose que su potencia equivalía al porcentaje de nitroglicerina en la mezcla; el kieselguhr fue sustituido por otras sustancias, haciéndose necesario establecer métodos para medir esta potencia. En tal sentido, estos métodos se implementaron para establecer comparaciones entre las mezclas preparadas y las dinamitas originales; es así como una dinamita de potencia 60%, fabricada actualmente, no significa que tenga 60% de nitroglicerina, sino que tiene un comportamiento similar a la dinamita original de 60%.

### **Resistencia al agua**

Indica la propiedad de un explosivo de absorber y retener la humedad, siendo expresada por el número de horas en las cuales un producto puede ser sumergido en agua estática sin perder sus características. El efecto del agua sobre un explosivo expuesto a ella, puede dar origen a diversos fenómenos como lo son el enfriamiento, descomposición y corrosión.

### **Sensibilidad**

Es la medida de la excitación requerida para iniciar o facilitar una reacción explosiva y puede ser analizada de acuerdo a diversos factores, tales como: medida de la magnitud del impacto que requiere una mezcla explosiva para ser detonada, Medida de la temperatura

generada por la fricción, que puede hacer detonar un explosivo cualquiera, además también el calor puede descomponer un explosivo. Todo explosivo tiene una relación de temperatura crítica sobre la cual él mismo se descompone. Cuando un explosivo se coloca en un ambiente de alta temperatura, sigue un período en el cual el explosivo absorbe este calor, causando el comienzo de su descomposición, la cual puede ir desde su inactividad hasta su auto-detonación.

La medida de sensibilidad más importante que se debe conocer, en el momento de diseñar una voladura, es la de sensibilidad al detonador, lo cual caracteriza a un explosivo y es utilizada además como parámetro importante en su clasificación. La sensibilidad al detonador #8 es la medida estándar utilizada en la industria de los explosivos y refleja la facilidad de detonación o no de una mezcla explosiva por acción de un detonador corriente (eléctrico o no eléctrico). La prueba para su determinación consiste en colocar la muestra en un cartucho de papel de 87 mm de diámetro y 162 mm de largo; En el centro del cartucho se introduce un detonador #8 (el detonador #8 para test está constituido por una cápsula que contiene dos gramos de una mezcla 20% de clorato de potasio y 80% de fulminato de mercurio o un detonador de potencia equivalente, constituido por una cápsula de aluminio, conteniendo una carga de 0,40 a 0,45 gramos de PETN en el fondo, comprimida a 1,4 gr./cc). Un trozo de cordón detonante, de un metro de longitud y de 12,5 gr. /m de carga, es insertado por uno de los extremos del cartucho y se procede a iniciar el detonador; la medida de, si es sensible o no, el explosivo, al detonador #8, lo determina la falla en la iniciación o no del cordón detonante.

### **Emanación de gases**

Los gases resultantes de la detonación de los explosivos comerciales y agentes de voladuras, en su mayoría no son tóxicos, tales como el bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua; sin embargo, con ellos también se generan, aunque en menor proporción, gases altamente tóxicos como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. La presencia de gases tóxicos en la reacción explosiva es la más importante restricción para su empleo en minería subterránea, ya que implica un gran riesgo de envenenamiento para el personal que labora en ellas. En la minería a cielo abierto, esto no representa mayor peligro, pues la ventilación es suficiente para dispersar los gases. Existen diversos métodos de medir el volumen de gases tóxicos generados por la explosión, que van desde el cálculo teórico, hasta la utilización de medidores especiales en las atmósferas cerradas, donde ha habido una detonación.

## **Inflamabilidad**

Esta propiedad se refiere a la facilidad con la cual un explosivo o agente de voladura pueda ser inflamado por acción del calor. Muchas dinamitas arden fácilmente, pudiéndose generar una detonación, sin embargo, los “slurries” o gelatinas son más difíciles de quemar que la dinamita y en algunos casos, es necesario mantener una fuente de llama en un contacto permanente que, después de haber evaporado todo el contenido de humedad, permite al explosivo mantener la combustión.

## **Estabilidad química**

Se refiere a la propiedad de un explosivo de permanecer inalterado químicamente durante el tiempo en almacenamiento. En general, los explosivos industriales son muy estables, pudiéndose mantener almacenados, bajo condiciones favorables de empaqueo y temperatura, durante largos períodos de tiempo sin sufrir alteración. La medida establecida para los explosivos comerciales, determina su tiempo máximo de almacenamiento, sirviendo como guía para el usuario al establecer el plan de rotación de inventarios.

## **Balance de oxígeno.**

El oxígeno que interviene en la reacción química de un explosivo es tomado de su propia composición química, debido a que por la rapidez y violencia de la misma no da tiempo a tomarlo del ambiente. La suficiencia de las moléculas de oxígeno en la mezcla, determina la toxicidad de los gases generados por la reacción. De allí, que los fabricantes de explosivos hayan desarrollado fórmulas químicas con sustancias portadoras de oxígeno tales como el nitrato de amonio, con el fin de garantizar la oxidación completa de las moléculas de carbono, hidrógeno y nitrógeno.

### **3.2.3. Parámetros de diseño de Voladuras.**

Para la ejecución de una voladura es necesario establecer unos parámetros bases para el diseño de la malla del patrón y carga de cada uno de los barrenos.

## Retiro y Espaciamiento

El retiro “R” o también denominada “B” es la distancia mínima desde el eje de un barreno al frente libre. En la Figura N° 16, se puede ver ilustrado parámetros como el retiro, espaciamiento y altura de banco.

El espaciamiento “E” es la distancia entre barrenos de una misma fila. Estas variables dependen básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de las rocas y de los explosivos, de la altura de banco y del grado de fragmentación y desplazamiento del material deseado.

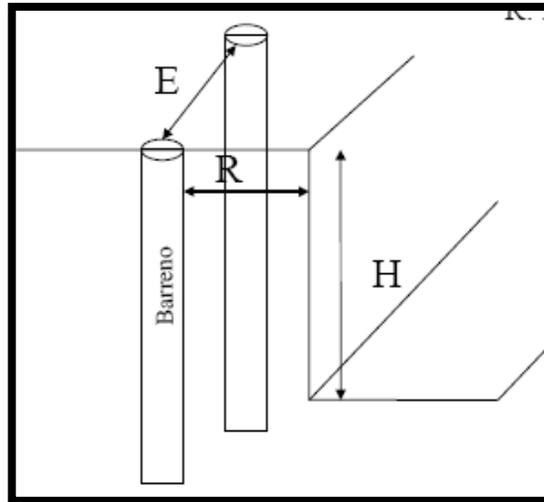


Figura N° 16 Espaciamiento y Retiro (Freites 2002)

## Sobreperforación.

La sobreperforación (J) es la longitud de barreno por debajo del nivel del piso que se necesita para romper la roca a la altura del banco, y lograr una fragmentación y desplazamiento adecuado que permita al equipo de carga alcanzar la cota de excavación prevista. En la figura N° 17 se observa un esquema de sobreperforación.

La rotura en el fondo de barreno se produce en forma de conos invertidos cuyos ángulos con la horizontal dependen de la estructura del macizo y de las tensiones residuales. Normalmente, varían entre 10° y 30°. Como se muestra en la siguiente figura N° 17

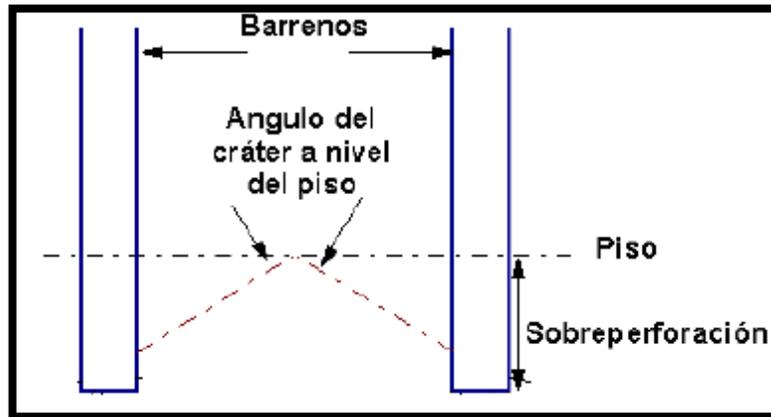


Figura N° 17 Sobreperforación en voladura (Freistes, 2002)

Para disminuir la sobreperforación es recomendable la utilización de explosivos que proporcionen una elevada concentración de energía por unidad de longitud en la parte inferior de la carga y perforar barrenos inclinados.

### Retacado

El retacado es la longitud de barreno que en la parte superior se rellene con un material inerte y tiene la misión de confinar y retener los gases producidos en la explosión para permitir que se desarrolle por completo el proceso de fragmentación de la roca. Si el retacado es insuficiente se producirá un escape prematuro de los gases a la atmósfera, generándose problemas de onda aérea y riesgo de proyecciones. Por el contrario, con un retacado excesivo se obtendrá gran cantidad de bloques procedentes de la parte alta del banco, poco esponjamiento de la pila de material y un nivel de vibración elevado.

### 3.2.4. Selección del Explosivo

En la superficie de minas y canteras todo el rango de explosivos puede encontrar aplicación por la variedad de combinaciones de las condiciones presentes en ella. La mejor colocación de explosivos o combinaciones de explosivos para un conjunto de condiciones dadas, puede solamente ser determinada después de que muchos factores han sido considerados, cada uno apuntando a un requerimiento particular del explosivo tales como potencia, densidad, grado de resistencia al agua, sensibilidad de detonación y propagación, etc.

Los principales factores para tomarse en cuenta son:

- Depósitos en estratos que van a ser volados: Estos podrían variar considerablemente desde láminas de pizarra suave hasta granitos duros y masivos. En el mejor caso una baja densidad, baja potencia del explosivo podría ser suficiente, mientras que para el último una alta potencia, alta densidad de explosión serían requeridas.
- Grado de fragmentación requerido: Esto dependerá del tipo de equipo de carga utilizado y más específicamente en el tamaño del cucharón utilizado en la máquina cargadora. Otras cosas serán iguales, un más alto grado de fragmentación podría ser requerido para una draga que para un cargador tipo pala. Para un esquema de colocación de barrenos dado el grado de fragmentación obtenido dependerá de la concentración de la energía del explosivo provisto en los barrenos perforados y serán gobernados por la potencia y la densidad del explosivo empleado.
- Condiciones del barreno: Estas podrían variar de completamente mojadas a completamente secas. Para condiciones secas puede ser empleado cualquier tipo de explosivo que tenga la apropiada potencia y densidad para el banco a ser explotado. Para condiciones húmedas un tipo de explosivo resistente al agua, (por ejemplo nitroglicerina, gelatina o slurry) se requiere. Donde los barrenos están parcialmente llenos con agua, un explosivo con resistencia al agua debe ser usado a fin al menos hasta que la columna de carga esté arriba del nivel del agua.
- Diámetro del barreno. Este puede variar considerablemente de 48 mm a 300 mm (12") o más. El diámetro del barreno puede influir en el tipo de explosivo que deba ser usado, y generalmente a diámetro más pequeño corresponde mayor sensibilidad dada por la composición del explosivo (para iniciar y propagarse a través de la columna).

### **3.2.5. Tipos de explosivo.**

#### **Nitrato de Amonio**

Es el componente básico de la mayoría de los explosivos industriales. El nitrato de amonio es poroso tiene su más amplia aplicación con la mezcla del gasoil #2, para formar lo que

comercialmente se denomina ANFO (Amonium Nitrate / Fuel Oil). El nitrato de amonio ( $\text{NH}_3\text{NO}_4$ ) se produce la reacción de amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) con ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ).

#### Nitrato de Amonio de Alta densidad

Cuando se produce N.A. grado agrícola la solución a 99,5% es bombeada a lo alto de la tolva de prillado y después esperada. Este producto contiene meno de 0,5% de humedad cuando llega al fondo de la torre.

En la fabricación del N.A. de alta densidad no existe el proceso de secado y la porosidad es muy baja.

#### Nitrato de Amonio Granulado

El N.A. granulado se produce tomando una solución de 93% de N.A. y alimentando dentro de una caldera. La caldera tiene vapor, una camisa de agua fría y una hoja rotatoria de barrido en el depósito. La relación de enfriamiento y enfriado, determinan los cristales producidos (con enfriamiento lento se producen cristales grandes, enfriamiento rápidos produce cristales pequeños).

Agentes condicionantes como arcilla china y estearatos son agregados a las calderas para prevenir la formación de aglomeración de N.A. El producto es removido de las calderas y pasado a través de un secador antes de ser empacados.

#### **Anfo**

Es producido por la mezcla de pequeñas esferas o gránulos (conocida en el mercado de los explosivos como perlas) de nitrato de amonio poroso con gasoil (ver figura N°18). Debido a la estructura microcristalina y micro-porosa del prill, este puede absorber hasta 11% de gasoil (solamente 5,7% es necesario).para un óptimo desempeño del explosivo, la relación de masa entre prills de nitrato de amonio con respecto al gasoil (diesel) debería ser 94,3% NA / 5,7% gasoil. Para efectos prácticos, 100 kilogramos de nitrato de amonio poroso deberá mezclarse con 6 kilogramos de gasoil (7,5 litros) para producir 106 kilogramos de ANFO.

El ANFO genera una baja velocidad de detonación con una moderada presión de detonación. Esto resulta en una buena energía de gas que empuja la roca.



Figura N° 18 Apariencia física y presentación de ANFO. (Fuente, CAVIM)

Los factores que afectan el desempeño del ANFO son:

- Humedad: si la humedad es alta, ocurre una combustión incompleta con la presencia de humos naranjas (NOx).
- Contenido de gasoil: un ANFO con poco contenido de gasoil puede resultar una combustión incompleta, con la presencia de humos naranjas. En cambio, si se añade mucho gasoil también puede resultar una combustión incompleta, resultando un pobre desempeño del ANFO. El ideal contenido de gasoil debería ser de 5,7%; pero en la práctica se trata de fabricar ANFO con un contenido de gasoil de 6% debido a que el desempeño del ANFO se ve más afectado con déficit de gasoil en comparación si hay exceso del mismo.
- Espacios vacíos en cada prill.
- Tamaño de prill: menor tamaño, mayor VOD.
- Grado de confinamiento: mayor confinamiento, mayor VOD.
- Densidad: mayor densidad, mayor VOD hasta que se alcanza la densidad crítica.
- Cordón detonante: tiende a deflagrar de una importante cantidad de explosivo.

En la tabla N°5 se muestra las propiedades del ANFO más representativas.

**Tabla N° 5 Propiedades del ANFO**

Densidad	g/cm <sup>3</sup>	0,77 +/-5%
(*) Velocidad de detonación	m/s	3400+/-3%
(*) Presión de detonación	kBar	23
Energía	Kcal/kg	912
Resistencia al agua		Baja
Volumen de gases,	l/kg	692
Potencia Relativa en Peso		100
Categoría de humos		1ª
Diámetro de prueba, en	pulgadas	3

## **Dinamita**

La nitroglicerina fue el primer alto explosivo utilizado en voladuras comerciales. La nitroglicerina es extremadamente sensible al choque, la fricción y al calor, lo que la hace extremadamente peligrosa. En Suecia en 1865, Alfred Nobel encontró que si este líquido tan peligroso se mezclaba con un material inerte, el producto resultante era seguro de manejar y era mucho menos sensible al choque, la fricción y al calor. A este producto se le llamo dinamita.

### Tipos de dinamita

- Dinamitas normales (straight dynamite): Compuestos de nitroglicerina, nitrato de sodio, un antiácido (carbonato de sodio, magnesio u óxido de zinc), un combustible carbonaceo (pulpa de madera) y algunas veces azufre. El termino straight significa la no utilización de nitrato de amonio, una dinamita normal 20% implica un 20% en peso de nitroglicerina en la composición del explosivo.

- Dinamita gelatina: Explosivo de textura gomosa compuesto por nitroglicerina y nitrocelulosa. La adición de pequeñas cantidades de ácido da mayor estabilidad a su almacenaje, a veces se añade aserrín.

Dinamita amoniacal: También llamada dinamita extra, contiene lo siguiente: nitroglicerina, nitrocelulosa, azufre, nitrato de amonio, nitrato de sodio, antiácido y material combustible.

## Hidrogeles

Es un término usado para denominar a los explosivos a base de agua. A diferencia de otros explosivos, estos contienen en su fase oxidante agua y en su fase combustible ingredientes sólidos suspendidos en una solución. Estas dos fases se ligan con eslabones moleculares. Están constituidos por: nitrato de amonio, aluminio y TNT como sensibilizador, aserrín, gomaguar, y agua.

Poseen una resistencia al agua excelente y la potencia, que es una característica fundamental de aplicación, es equivalente o superior a la de los explosivos convencionales, pudiendo ajustarse en función de la formulación del hidrogel. Las energías desarrolladas oscilan en el rango de las 700 a las 1500 cal/g.

La densidad puede también modificarse desde 0,8 hasta 1,6 g/cm<sup>3</sup>, partiendo de un valor básico comprendido entre 1,4 y 1,5. Mediante la adición de gasificantes químicos, como ya se ha indicado, o de aditivos de baja densidad puede producirse tal parámetro. Esas disminuciones influyen sobre los explosivos haciendo que la baja velocidad de detonación aumente en muchos casos, así como su sensibilidad. En la siguiente figura N° 19, se muestra la relación entre la densidad y la velocidad de detonación.

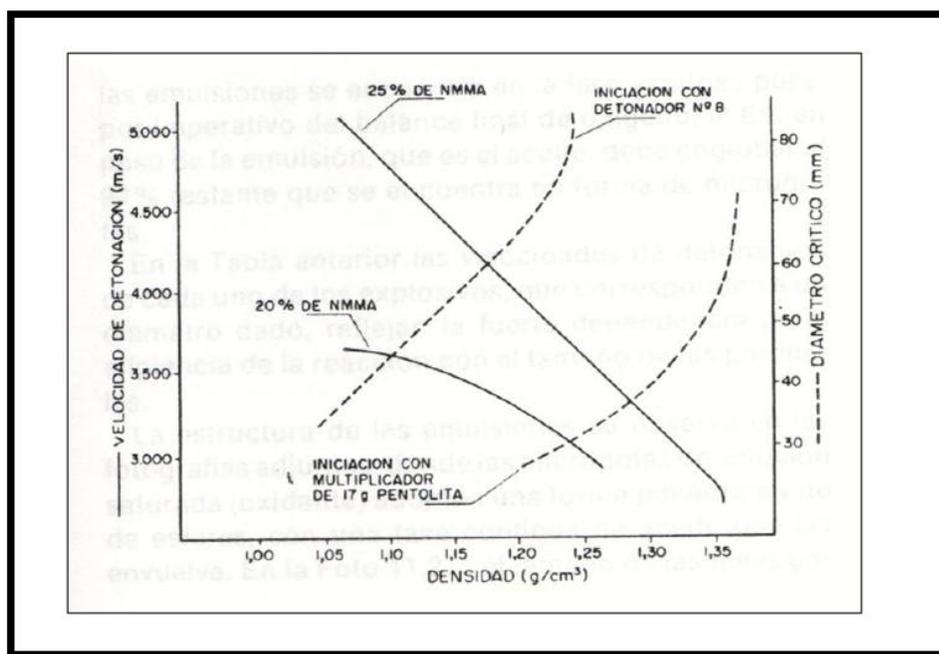


Figura N° 19 Relación entre la densidad y la velocidad de detonación en los hidrogeles.(López Jimeno, 1998)

## Emulsiones Explosivas

Consisten en productos de agua en aceite de una solución de sal oxidante (gotas – droplets) que está disperso en una fase continua de combustible y se mantienen unidas por emulsificantes/surfactantes. Fue patentada por Atlas Powder (hoy en día Orica) en 1966 (ver figura N°20).

Las emulsiones sensitivas se preparan en forma de mezcla de agua en aceite en las que existen dos fases presentes, una fase externa y otra fase interna; esto es análogo a la mezcla de agua y aceite. Ambas fases están separadas, pero con una agitación apropiada y emulsificante, un líquido puede ser disperso en otro, formando una emulsión. La fase interna está compuesta de una solución de sales oxidantes suspendidas, rodeadas por la fase externa de combustible. En la tabla N°6 se ilustra sus principales propiedades.

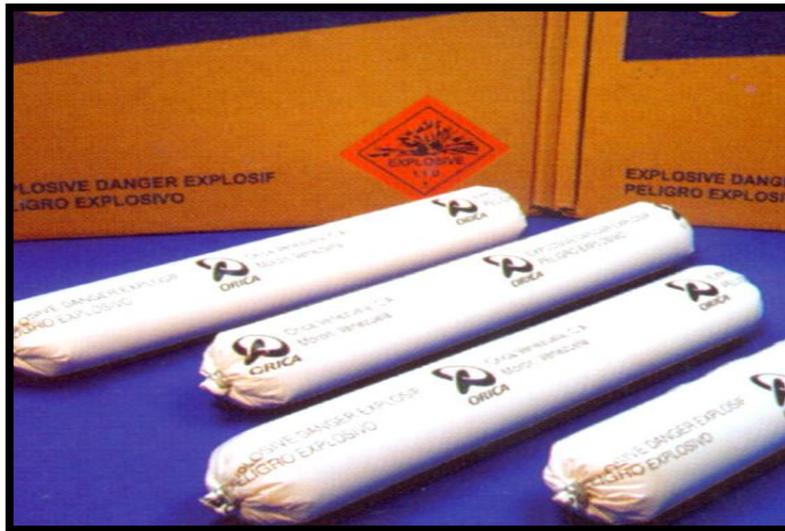


Figura N° 20 Apariencia física y presentación de Emulsión Explosiva Magnafrac Senatel. (Fuente, CAVIM)

**Tabla N° 6 Propiedades de la emulsión encartuchada Magnafrac**

Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1.10-1.20
(*) Velocidad de detonación	m/s	2.700-6.100
Resistencia al agua		Excelente
Potencia Relativa en Peso	(RWS)	105%
Potencia Relativa en Volumen	(RBS)	105%
CO <sub>2</sub> <sup>3</sup>	(kg/t)	178%
(*) Rango acotado a un Ø mínimo no confinado hasta la VOD ideal calculada		

### 3.2.6. Desprendimiento de Energía y Fuerza

El propósito de la aplicación de explosivos durante la voladura es el de realizar un trabajo útil. El trabajo puede ser la fragmentación de roca, mena, o carbón, o el corte del acero o concreto durante la demolición. La energía del explosivo inicial es almacenada como energía química y en la detonación es liberada y usada. La utilización de energía explosiva está regulada por las leyes de conservación de energía, masa y tiempo. Sin embargo, la energía es usada para hacer lo siguiente, durante la detonación dentro del barreno:

- Trituración alrededor de la pared del barreno.
- Rotura de la formación (radial y tensión).
- Esquilar.
- Calor y luz.
- Movimiento de masa.
- Vibración del suelo.
- Explosión aérea.

La energía explosiva es liberada en la roca circundante, en dos formas diferentes: presión de detonación y presión de barreno. La detonación, o presión de choque, ejerce una fuerza de fragmentación sobre la roca. La presión del barreno es debido al aumento del gas y es más lento de actuar. Este puede ser responsable de alguna fragmentación, pero sin duda es la primera causa de remoción de roca.

### 3.2.7. Factor de Energía

Antes de la venida de las mezclas, los geles de agua, y emulsiones, el factor de carga fue un buen indicador de la cantidad de energía usada para romper una cantidad de roca, debido a que normalmente la energía explosiva aumenta con la densidad del explosivo. Sin embargo, con las mezclas, los geles de agua, y las emulsiones, la energía puede variar enormemente, aun cuando la densidad del explosivo permanezca igual. Consecuentemente, un mejor método fue necesitado para relacionar la cantidad de energía explosiva requerida para fragmentar a cantidad dada de roca. Esta es conocida como el factor de energía.

Ha habido muchas aproximaciones termodinámicas para calcular la cantidad de energía teórica de un explosivo. La detonación de un explosivo es básicamente una reacción química, produciendo una tremenda cantidad de energía de calor en forma de una rápida expansión de gases de alta temperatura. En los explosivos, la energía puede ser medida o calculada para determinar la salida termoquímica al mismo tiempo de la detonación.

Además de la salida de energía termoquímica del explosivo, se necesita considerar otros parámetros en la formulación de un factor de energía para definir con más exactitud el efecto del explosivo en la roca. La eficiencia total del explosivo durante la detonación debe ser considerada. La eficiencia total es una función de muchas variables, algunas de las cuales son internas o inherentes del explosivo en virtud de su formulación química, y algunas de las cuales son externas y partes del diseño de voladura o de las condiciones encontradas en el sitio. Desde la salida de muchos explosivos costosos, tales como RDX y PETN, que no son usados comúnmente como explosivos comerciales, otro buen ejemplo de un explosivo altamente eficiente es la emulsión. Las variables externas que pueden afectar la eficiencia total de un explosivo, son: las condiciones de agua, el diámetro de la carga, la longitud de la carga, la magnitud de confinamiento, la temperatura, las condiciones de presión ambiental, la ruptura de la carga debido al cordón detonante, y los efectos de la detonación de las cargas adyacentes en las proximidades cercanas, causando un efecto de presión muerta.

El factor de energía (EF) es definido como la cantidad de energía explosiva en kilocalorías (Kcal.) y su relación de distribución en una cantidad dada de roca. Por consiguiente en la ecuación se muestra en la ecuación N°1:

$$EF = \frac{Q}{\text{Volumen\_de\_Roca}}$$

**Ecuación N° 1**

El factor de energía puede ser expresado en yardas cúbicas o toneladas.

Más a menudo, el valor AWS es suministrado ya que este es independiente de la densidad.

### **Energía y Barrenos Secos**

Cuando el Ingeniero de Explosivos tiene que cubrir con grandes cargas al pie o variar las condiciones geológicas, es necesario describir la cantidad de energía por pie lineal del barreno.

La cantidad de energía por pie de barreno puede ser determinada como sigue en la ecuación N°2:

$$Q_f = 0,155 * D_e^2 * \rho * AWS$$

**Ecuación N° 2**

Dónde:

Qf = energía explosiva (kilocalorías) por pie

De = diámetro de la columna de explosivo (pulgadas)

$\rho$  = densidad (gramos por centímetro cúbicos)

AWS = fuerza de peso absoluto

0.155 = factor de conversión

O por la ecuación N°3,

$$Q_f = 0,155 * D_e^2 * ABS$$

**Ecuación N° 3**

Dónde:

$Q_f$  = energía explosiva (kilocalorías) por pie

$D_e$  = diámetro de la columna de explosivo (pulgadas)

$ABS$  = fuerza de volumen absoluta

0.155 = factor de conversión

### **Energía y Barrenos Mojados**

Cuando se está cargando barrenos mojados, se deben usar cartuchos más pequeños que el diámetro del barreno para facilitar la carga. Para obtener la misma energía por pie cuando esta mojado, se debe usar explosivos más enérgicos.

Por ejemplo, cuando se usa un volumen de ANFO en un barreno seco de 6½”, se debe escoger un explosivo resistente al agua de 5½” con igual energía por pie de ANFO, para balancear la energía en los barrenos húmedos.

### **3.2.8. Accesorio de Voladura**

#### **Cordón Detonante**

El Cordón Detonante es un accesorio para voladura constituido por un núcleo granulado fino y compacto de un alto explosivo llamado pentrita y además se encuentra recubierto con papel de características especiales, fibras sintéticas, hilos de algodón y tiene una cobertura exterior cuya constitución cambiará según sea simple o reforzado.

Se activa generalmente por medio de un fulminante y el núcleo de explosivo detonará a una velocidad de 7000 m/s aproximadamente, creando una onda de choque que permitirá activar una carga sensible al referido impulso. Es manipulado con gran facilidad y seguridad.

Este accesorio para voladura tiene múltiples aplicaciones en minería, explotación de canteras, movimientos de tierra y diferentes trabajos de ingeniería civil. Funciona adecuadamente en todo tipo de voladuras, independiente del diámetro y longitud del taladro. Se

le usa complementariamente con los booster o primer, retardos de superficie y detonadores no eléctricos.

### **Explosivo Encartuchado Booster de Pentolita**

Los booster está constituido por una sustancia conocida como pentolita; la pentolita se comporta como un explosivo ideal ya que alcanza completamente la velocidad de detonación casi instantáneamente. La pentolita es físicamente la mezcla de PETN y TNT, esta mezcla es típicamente 35% PETN y 65% TNT, esta relación da una alta sensibilidad y potencia (ver tabla N°7).

El booster tiene una densidad de 1,6 gr/cm<sup>3</sup> una presión de detonación de 214 a 250 kilobars, con una velocidad detonación de 24000 pies/seg. Los boosters de pentolita se comercializan en Chile como Mexatoles. En la figura N° 21 se muestra la apariencia física del booster de pentolita.



**Figura N° 21 Apariencia física del booster de pentolita. (Fuente, CAVIM)**

**Tabla N° 7 Propiedades de los Booster de Pentolita**

Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,6 +/- 3%
(*) Velocidad de detonación	m/s	7000+/- 3%
(*) Presión de detonación	kBar	202
Energía	Kcal/kg	2652
Resistencia al agua		excelente
Volumen de gases	l/kg	692
Potencia Relativa Peso, ANFO= 100	RWS	148
(*) Medido en tubo de 1" X 16"		

### **Booster de Emulsión Explosiva**

Emulsión explosiva en cartucho plástico, para ser aplicada como booster en voladura primaria con agentes de voladura, tanto en taladros secos como inundados.

Sus excelentes características se manifiestan al emplearlas como cargas reforzadoras. El Primagel-E es sensible al detonador No. 6 y al cordón detonante.

### **Mecha de Seguridad**

La Mecha de seguridad es uno de los componentes del sistema tradicional de voladura. Su estructura está compuesta por capas de diferentes características (ver figura N° 22); las cuales protegen al núcleo de pólvora y tiene un recubrimiento final de material plástico que asegura una excelente impermeabilidad y buena resistencia a la abrasión.

La Mecha de Seguridad es manufacturada usando un proceso por vía húmeda, reduciendo significativamente los peligros del manipuleo en seco de la pólvora y como consecuencia de la misma se tiene un accesorio final con características de calidad superiores a los productos fabricados por vía seca.



**Figura N° 22 Apariencia física y presentación de la mecha lenta de seguridad. (Fuente, CAVIM)**

Se usa complementariamente con el fulminante simple y al momento de quemarse la potencia de chispa tiene la capacidad suficiente para activarlo sin restricciones de ninguna naturaleza, siempre que se cumplan con las recomendaciones de la forma correcta de fijar el fulminante simple a la mecha de seguridad. El fulminante simple activado iniciará al cebo conformado por un explosivo sensible y permisible al referido impulso y el mismo activará a la columna explosiva correspondiente.

### **Fulminante Simple N° 8**

Está conformado por un casquillo cilíndrico de aluminio cerrado en uno de sus extremos, en cuyo interior lleva una carga primaria de un explosivo sensible y otra carga secundaria de alto poder explosivo (ver figura N°23). Su diseño permite que la carga primaria sea activada por la chispa de la mecha de seguridad, la cual inicia la carga secundaria y ésta al explosivo. En su desarrollo se ha tenido cuidado especial en la compatibilidad del funcionamiento que debe existir con la mecha de seguridad.

El Fulminante Simple N° 8 tiene todas las garantías para un buen funcionamiento, siempre y cuando, se cumplan con las recomendaciones de un adecuado fijado a la mecha de seguridad, controlando principalmente la impermeabilidad en el lugar donde se encuentra el referido fijado.



**Figura N° 23 Apariencia física y presentación del fulminante corriente •#8. (Fuente, CAVIM)**

Se usa complementariamente con el fulminante simple y al momento de quemarse la potencia de chispa tiene la capacidad suficiente para activarlo sin restricciones de ninguna naturaleza, siempre que se cumplan con las recomendaciones de la forma correcta de fijar el fulminante simple a la mecha de seguridad. El fulminante simple activado iniciará al cebo conformado por un explosivo sensible y permisible al referido impulso y el mismo activará a la columna explosiva correspondiente.

### **Mecha de Rápida - Cordón de Ignición**

Está conformado por una masa pirotécnica y alambres centrales especialmente diseñados, ambos se encuentran recubiertos con una cobertura plástica, cuya finalidad es impermeabilizar y proteger la masa pirotécnica. Este accesorio se usa complementariamente con la mecha de seguridad de una determinada longitud, en cuyos extremos se encuentran fijados el fulminante simple y el conector de ignición.

En el momento de efectuar el circuito de conexión la Mecha Rápida se introduce en la ranura de los conectores y se les asegura con el respectivo collar plástico incorporado y en esas condiciones estará listo para ser activado por medio de la llama de un fósforo u otro agente externo.

La longitud de la Mecha Rápida usada entre dos taladros, se determina por varios factores, siendo los principales parámetros: el tipo de trabajo, tiempo de combustión de la Mecha Rápida, el circuito de conexión y tiempo de combustión de la mecha de seguridad. En cada caso se debe tener especial cuidado en que la carga explosiva activada en los primeros

taladros no dañe al resto de los accesorios utilizados y por esta razón se inutilice la secuencia de voladura.

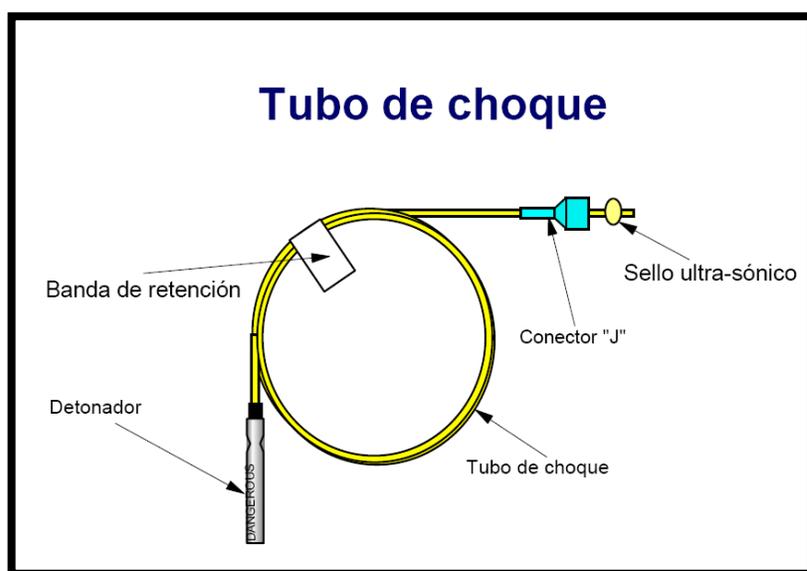
El objetivo fundamental del accesorio es eliminar el chispeo manual de la mecha de seguridad, evitando la exposición de los operadores a los humos de combustión. Además permite la salida segura del personal del lugar de disparo.

Para efectuar los empalmes entre los tramos de Mecha Rápida es necesario tener especial cuidado en cumplir las recomendaciones del fabricante.

### **Detonador no Eléctrico de Retardo (Nonel)**

El Detonador No Eléctrico de Retardo es un sistema integrado compuesto por los siguientes elementos:

- Tubo de choque flexible que al ser activado por medio de un agente externo, transmite por su interior una onda explosiva de baja energía hasta llegar al detonador de retardo. Este tubo es de plástico laminado y contiene en su superficie interior una capa de material reactivo (ver figura N° 24). La onda explosiva tiene la capacidad de desplazarse a una velocidad de 2000 m/s a través de los dobleces y nudos que podrían existir por alguna razón en el tubo, además tiene la característica que no se transmitirá hacia el exterior y no afectará al explosivo con el cual puede estar en contacto.



**Figura N° 24 Aspecto físico del detonador Nonel (Freites (2002))**



Figura N° 25 Apariencia física y presentación del Det. Exel Handidet NONEL. (Fuente, CAVIM)

- Detonador con elemento de retardo y el sello antiestático.
- Etiqueta que indica la serie, el período de retardo y el tiempo nominal de detonación.

Conector “J” que sirve para conectar el tubo de choque a una línea troncal de cordón detonante en forma perpendicular. En la figura N° 25 se puede ver el aspecto físico del detonador no eléctrico y en la figura N° 26 se puede observar las características internas de detonador.

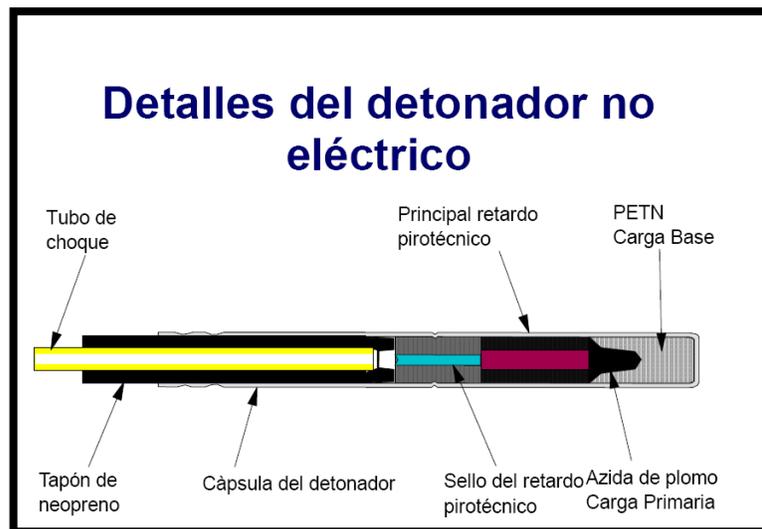


Figura N° 26 Característica Interna del Detonador (Freites (2002))

Las características principales de su fabricación y uso se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Seguro: El tubo de choque no puede iniciarse accidentalmente por descargas eléctricas, corrientes estáticas o vagabundas, transmisiones de radio de alta frecuencia, fuego, fricción u otras condiciones que se dan normalmente en las operaciones mineras

Reducción considerable en el uso de retardo de superficie. Al usarlo complementariamente con el detonador no eléctrico de retardo – tipo dual permite lograr diagramas de disparo muy flexibles y adecuados a diversas condiciones de trabajo.

- Se conectan en forma sencilla y rápida sin requerir de herramientas especiales.
- La señal propagada por el interior del tubo es silenciosa.

### **Detonador Eléctrico de Retardo**

El Detonador Eléctrico de Retardo es un sistema integrado compuesto por los siguientes elementos:

- Cápsula de aluminio o cobre que contiene el explosivo brizante, la carga primaria, el elemento de retardo y la gota eléctrica; la cual está unida a los alambres conductores de energía que se encuentran protegidos por un plástico semiconductor.
- Etiquetas que indican la serie, el período de retardo, el tiempo nominal de detonación y la longitud de los alambres conductores.

Al paso de la corriente, la gota eléctrica es inflamada de tal manera que activará consecutivamente al elemento de retardo, carga primaria y carga secundaria; las cuales convenientemente dispuestas activarán a las cargas explosivas sensibles al detonador.

Las características principales de su fabricación y uso se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Los tiempos de retardo permiten optimizar un disparo debido a que tendremos una adecuada formación de las caras libres y mejora la fragmentación del material volado.
- Los tiempos de retardo permiten un mejor control del nivel de las vibraciones, facilita el control del ruido.
- La precisión de los tiempos de retardo proporciona economía y seguridad.
- Los circuitos eléctricos permiten comprobar adecuadamente que todas las conexiones han sido ejecutadas correctamente.
- La columna explosiva no deflagra por acción de los alambres conductores de corriente, lo que permite lograr su máximo rendimiento.

### Tipos de Retardo

- Período corto – MS Con relación a la energía eléctrica:  
 Detonador de sensibilidad normal – SN  
 Detonador insensible – I  
 Detonador altamente insensible – AI
- Con relación al tiempo de retardo:

Periodo largo – LP

### 3.2.9. Factor de carga

El factor de carga es la cantidad de explosivo en kilos por metro cúbico de roca. Este factor es el indicador económico más importante cuando se habla de diseño de patrones de voladura. Suele utilizarse como indicador de eficiencia de voladuras; el factor de carga se calcula mediante la ecuación N°4.

$$FC = \frac{Q}{Hb \bullet B \bullet E}$$

Ecuación N° 4

Donde:

Q = Cantidad de explosivo (Kg)

B = Retiro (m)

E = Espaciamiento (m)

Hb = Altura de banco (m)

El Factor de Carga se puede estimar a través de la resistencia a la compresión de la roca. Kutuzov en 1979 establece un sistema de correlación entre la resistencia a la compresión de la roca y el factor de carga. La cual se puede ver en la siguiente Tabla N° 8. Este sistema permite calcular el factor de carga mediante una interpolación sencilla.

**Tabla N° 8 Relación entre la resistencia a la compresión y el factor de carga, (Kutunov, 1978)**

<b>Límites</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Resistencia a la Compresión Simple (MPA)</b>
0,12 - 0,18	0,150	10,00 - 30,00
0,18 - 0,27	0,225	20,00 - 45,00
0,27 - 0,38	0,320	30,00 - 65,00
0,38 - 0,52	0,450	50,00 - 90,00
0,52 - 0,68	0,600	70,00 - 120,00
0,68 - 0,88	0,780	110,00 - 160,00
0,88 - 1,10	0,990	145,00 - 205,00
1,10 - 1,37	1,235	195,00 - 250,00
1,37 - 1,68	1,525	235,00 - 300,00
1,68 - 2,03	1,855	> 285

### **3.2.10. Voladura en Banco**

La voladura de banco es el más común de los trabajos de voladura. Se puede definir como voladura de barrenos verticales o casi verticales en una o más filas contra una superficie libre. La voladura de banco también se puede realizar con barrenos horizontales o banqueo horizontal.

La mayoría de las voladuras se pueden considerar como voladuras de banco. La voladura de trincheras para tuberías es también un tipo de voladura de banco, pero debido a que la roca está más constreñida, requiere de una carga específica mayor y perforaciones con espaciamentos más densos.

En túneles, después que el cuele es volado, el quiebre hacia el cuele es un tipo de voladura de banco.

La roca es un material con propiedades variantes. Su resistencia a la tensión, compresión y corte depende de los tipos de roca y puede variar en la misma voladura. Las propiedades geológicas afectan su capacidad de ser volado. Las formaciones rocosas raramente son homogéneas y pueden consistir de diferentes tipos en el área de voladura. Más aún, las fallas y vetas pueden alterar el efecto del explosivo en la voladura. Las rocas con discontinuidades son difíciles de volar aún si tienen una resistencia a la tensión baja, los gases penetran sin el efecto deseado, aún si la roca tiene una resistencia a la tensión relativamente baja.

Una clasificación muy usual de las voladuras en banco se hace atendiendo al diámetro de los barrenos:

- Voladuras de pequeño diámetro: (65 - 165) mm, en este tipo de voladuras se puede seguir la técnica sueca desarrollada por Langefors y Kihlström. De relevante importancia, podemos mencionar que el Ingeniero de Minas Venezolano Roberto Ucar que desarrollo una fórmula para estos casos.
- Voladuras de gran diámetro (180 - 450) mm, en este tipo de voladuras se puede seguir la técnica del cráter desarrollada por Livingston o criterios americanos.

### **3.2. MODELO DE PREDICCIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN**

Uno de los parámetros más importantes de conocer y quizás el más cuestionado en lo referente a las variables para obtener una buena estimación de la fragmentación, es el tamaño medio de fragmentación  $X_{50}$ . Según distintos autores, este valor debe dar cuenta tanto de parámetros de diseño de voladura, como de roca y del explosivo utilizado. A continuación, se exponen algunas de las metodologías más utilizadas que permiten su determinación:

### 3.3.1 Ecuación de Kuznetsov

La ecuación propuesta por Kuznetsov, es quizás la más conocida por pertenecer al modelo predictivo más utilizado (modelo de Kuz –Ram (1)), esta ecuación está dada por las ecuaciones N°s 5 y 6:

$$X_{50} = A * \left[ \frac{V_0}{Q} \right]^{0,8} * Q^{\frac{1}{6}}$$

Ecuación N° 5

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

Ecuación N° 6

Donde:

$X_{50}$  = Tamaño medio de los fragmentos de Voladura. (cm)

A = factor de roca.

$V_0$  = Volumen de roca fragmentada por pozo. ( $m^3$ )

Q = Cantidad de TNT equivalente a la carga de explosivo por pozo.

$Q_e$  = Kilos de explosivo por pozo.

E = Potencia relativa en peso referida al Anfo.

La ecuación 5 hace uso de la masa de TNT equivalente en energía a la carga de cada hoyo, después de algunos ajustes a esta ecuación donde se reemplaza los kilos de TNT a kilos de Anfo mediante el uso de la potencia relativa en peso, se obtiene la ecuación 6.

Observaciones a Considerar en el  $X_{50}$ :

- El termino ( $V_0/Q$ ) representa el inverso del factor carga  $F_c$ ; por tanto a medida que el factor de carga aumenta, el tamaño medio de la fragmentación disminuye.
- La ecuación también se ve influenciada por los kilos de explosivo por pozo, asociado al

diámetro de perforación, de la expresión se observa que el tamaño medio es directamente proporcional al diámetro de perforación.

### 3.3.2. Ecuación de Larsson

Propuesta por Larsson (1973), utiliza al igual que la de Kuznetsov parámetros de diseño de tronadura voladura, propiedades del explosivo, así como las características del macizo rocoso se muestra en la ecuación N° 7.

$$X_{50} = \left[ S * e^{\left\{ 0.58 * \ln B - 0.154 * \ln \left[ \frac{E}{B} \right] - 1.18 * \ln \left[ \frac{CE}{c} \right] - 0.82 \right\}} \right]$$

**Ecuación N° 7**

B: Retiro (m)

E/B: Razón Espaciamiento / Retiro.

CE: Consumo Específico de Explosivo (kg/m<sup>3</sup>).

c: Constante de roca. Equivale al consumo específico de explosivo gelatinoso necesario para fragmentar la roca, normalmente, varía entre 0.3 y 0.5 kg/m<sup>3</sup>.

S: constante de Volabilidad. Es un factor que considera la heterogeneidad y discontinuidades del macizo rocoso.

Roca muy fisurada y diaclasas muy próximas...	S = 0.60
Roca Diaclasa	S = 0.55
Roca normal con algunas grietas	S = 0.50
Roca relativamente homogénea	S = 0.45
Roca homogénea	S = 0.40

### 3.3.3. Fórmula de SveDeFo:

A diferencia de la ecuación de Larsson, la presentada por SveDeFo en la ecuación N° 8 considera el efecto de la altura del banco y la longitud del taco en el cálculo del tamaño medio de fragmentación:

$$X_{50} = S * \left[ 1 + 4.67 * \left( \frac{T}{L} \right)^{2.5} \right] * e^{\left\{ 0.29 * LnB^2 * \sqrt{\frac{S}{B}} - 1.18 * Ln \left[ \frac{CE}{c} \right]^{0.82} \right\}}$$

Ecuación N° 8

Longitud del Taco (m).

L: Profundidad del Pozo (m).

De estos tres algoritmos utilizados para el cálculo del tamaño medio se consideran las características de diseño, así como las características de la roca a tronar definido por A para la ecuación de Kuznetsov y S para las ecuaciones de Larsson y SveDeFo.

### 3.3.4. Estimación del Factor de Roca:

Tal vez el parámetro más importante para determinar un modelo de predicción de fragmentación es el Factor de Roca (A), actualmente existen varias propuestas para conocer su valor, pero sin lugar a dudas el más usado corresponde al entregado por Cunningham.

#### Factor de Roca (Cunningham)

El factor de roca, al igual que el índice de uniformidad, corresponde a unos de los parámetros más importantes en el modelo de Kuz – Ram. Este factor se determina a partir de una modificación al índice de volabilidad de Lilly (1), dándole Cunningham una mayor importancia a la dureza de la roca. El factor de roca de Cunningham, A, se deduce de datos geológicos del macizo rocoso usando la ecuación N°9:

$$A = 0,06 * (RMR + JPS + JPA + RDI + HF)$$

Ecuación N° 9

Donde:

RMR: Descriptor de la masa Rocosa.

JPS: Espaciamiento de las diaclasas verticales.

JPA: Angulo del plano de la diaclasa.

RDI: Influencia de la densidad.

HF: Factor de dureza.

Los valores de cada uno de los parámetros indicados se obtienen de la siguiente figura N27 °:

PARAMETRO	RANKING
<b>❖ DESCRIPCIÓN DE LA MASA ROCOSA ( RMR )</b>	
Meteorizada/ Quebradizo	10
Diaclasado Verticalmente	JPS + JPA
Masiva	50
<b>❖ ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS ( JPS )</b>	
0,1 m.	10
0,1 a sobre tamaño	20
Sobretamaño a tamaño de la malla	50
<b>❖ Angulo del plano de fractura ( JPA )</b>	
Buza fuera de la cara	20
Rumbo perpendicular a la cara	30
Buza hacia la cara	50
<b>❖ INFLUENCIA DE LA DENSIDAD ROCA ( RDI )</b>	
$RDI = 25 * SG - 50$ (SG = densidad gr/cc)	
<b>❖ FACTOR DE DUREZA ( HF )</b>	
- E / 3 para E < 50 GPa.	
- UCS / 5 para E > 50 GPa.	
E : Módulo de Young	
UCS : Resistencia a la Compresión Simple	

Figura N° 27 Factor de roca A por Cunningham. (Montoya, 2001)

### Factor Roca JKMRC

El modelo de fragmentación JKMRC propone una metodología para determinar el factor de roca, basado en el desarrollado por Cunningham, pero con ciertas modificaciones en los inputs requeridos (ver Figura N°28):

INPUTS:	
x80( cm)	: Tamaño asociado al 80% Pasante in Situ
x80(m)	
UCS (Mpa) **	: Resistencia a la Compresión Simple
E (Mpa) **	: Módulo de Young
E (Gpa) **	
B	: Burden
B/2	
Dens.roca	: Densidad de la Roca
RMD=100*x80	( x80<0,1 (m) )
RMD=5,56+44,4*x80	( 0,1<x80<1 (m) )
RMD=50	( x80>1 (m) )
	RMD
JF= 50	( x80 > B/2 (m) )
JF = 100* x80 /B	( x80< B/2 (m) )
	JF
SGI= 0	( SG<2 )
SGI= 25*SG-50	( SG>2 )
	SGI
HF= E/ 3	( E < 50 (Gpa) ]
HF= UCS (Mpa) / 5	( E >50 ( Gpa ) )
	HF
<b>A= 0.06*(RMD+JF+SGI+HF)</b>	<b>A</b>

Figura N° 28 Factor de Roca definido por JKMRC. (Montoya, 2001)

### 3.3.5. Modelo de Fragmentación de Kuz- Ram.

Correspondiente al modelo realizado por Cunningham (1983), basado en publicaciones rusas antiguas que desarrollaron una relación entre parámetros de voladura y el tamaño medio de fragmentación  $X_{50}$ , siendo usado extensamente alrededor del mundo. El nombre que lleva el modelo corresponde a una abreviación de los dos principales contribuyentes de la base del modelo: Kuznetsov y Rosin - Rammler.

#### Ecuación de Rosin – Rammler:

Entrega una buena descripción de la distribución de tamaño de un material tronado (ver ecuación N° 10:

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

Ecuación N° 10

Donde:

$R(x)$  = Proporción del material retenido para una abertura de malla

$x$  = Abertura de malla (cm)

$x_c$  = Tamaño característico (cm). Correspondiente al 62.9% del material pasante.

$n$  = Coeficiente de uniformidad.

### Índice de uniformidad n:

El índice de Uniformidad da cuenta del Rango de tamaños de partículas en una Distribución Granulométrica, vale decir, a mayor  $n$ , existe una mayor homogeneidad en las partículas que para  $n$  menores. (Ver Figura N°29)

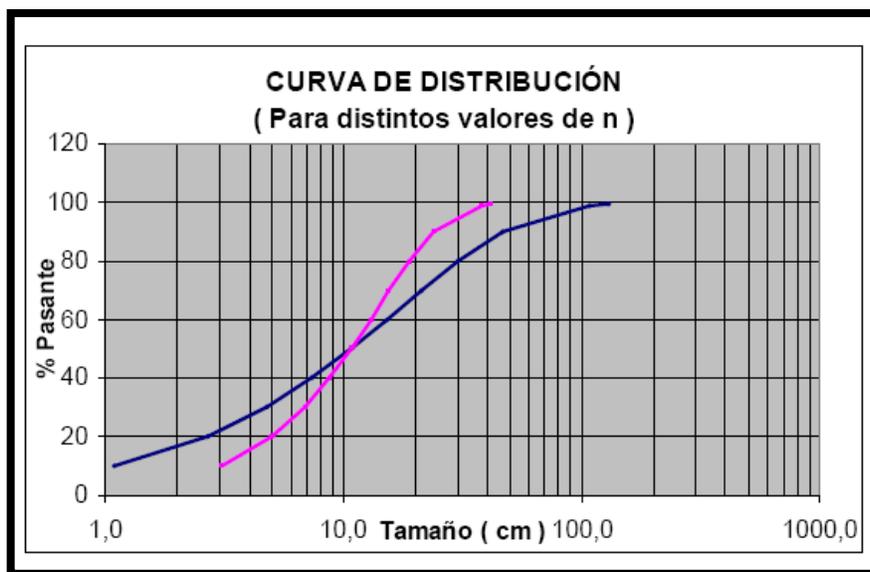


Figura N° 29 Curva de Distribución (Montoya 2001)

La ecuación de Rosin Rammler define completamente la distribución granulométrica a partir de un punto de la curva ( $X_{50}$ ) y la pendiente de la línea, asociado al coeficiente de uniformidad  $n$ . Para determinar  $n$ , Cunningham (1983) desarrolla la ecuación N°11, basado principalmente en

las características del diseño.

$$n = \left( 2.2 - 14 \frac{B}{d} \right) * \left( \frac{1 + \frac{S}{B}}{2} \right)^{0.5} * \left( 1 - \frac{W}{B} \right) * \left( \frac{\text{abs}(BCL - CCL)}{L_t} + 0.1 \right)^{0.1} * \frac{L_0}{H}$$

**Ecuación N° 11**

Donde:

n = Coeficiente de uniformidad

d = Diámetro de perforación (mm)

B = Retiro (m)

S = Espaciamiento (m)

W = Desviación de perforación (m)

BCL = Longitud de carga de fondo (m)

CCL = Longitud de carga de columna (m)

$L_t$  = Longitud total de carga (m)

$L_0$  = Longitud de carga sobre el nivel de piso (m)

H = Altura del banco.

De la curva se tiene que n da cuenta de la pendiente y se puede verificar en la ecuación N°12:

$$n = \frac{\text{Ln} \left[ \text{Ln} (1 - P(x1)) - \text{Ln} (1 - P(x2)) \right]}{\text{Ln}(x1) - \text{Ln}(x2)}$$

**Ecuación N° 12**

P(x1) y P(x2): Porcentajes Pasantes asociados a los tamaños.

Observaciones sobre el coeficiente de uniformidad n:

El coeficiente de uniformidad da cuenta de la homogeneidad de tamaño de material tronado, a medida que aumenta el valor de n la distribución de fragmentación se presenta más homogénea y viceversa.

A medida que el Retiro aumenta para un diámetro fijo de hoyo; n disminuye.

A medida que la relación S/B aumenta; n disminuye. Pero Cunningham dice que este término refleja la malla de perforación, no la malla de iniciación, y que la relación nunca debe exceder a dos.

Una vez conocido el valor de n para una voladura en particular, y el tamaño medio asociado, es posible obtener la distribución granulométrica completa, a partir de la ecuación de Rosin – Rammler, donde a través de un simple despeje y reemplazando  $X = X_{50}$  y  $R = 50\%$  Retenido, se obtiene el tamaño característico esto se puede ver en la ecuación N°13:

$$X_c = \frac{X_{50}}{(0,693)^{\left(\frac{1}{n}\right)}}$$

**Ecuación N° 13**

#### **Limitaciones del modelo:**

La razón Espaciamiento / Retiro no debe exceder de 2, estando referida al esquema de perforación y no a la secuencia de salida.

La secuencia de salida y los tiempos de retardos deben ser tales que proporcionen una buena fragmentación.

El explosivo debe desarrollar una energía próxima a la potencia relativa en peso calculada.

### 3.3.6. Modelo de Fragmentación JKMRC

Este modelo se basa en el supuesto de considerar que una pila de material volado está compuesta por una combinación de tamaños, agrupados en dos distribuciones; una para la Fracción Gruesa y la otra para la Fracción Fina.

El modelo JKMRC se genera a partir de estudios realizados al modelo de Kuz- Ram, en el cual queda demostrado que éste subestima considerablemente la distribución de la fracción fina.

La curva de distribución granulométrica del modelo se encuentra descrita dentro de dos regiones, modelada principalmente por la definición de tres componentes:

En el punto (1) se tiene el tamaño medio de fragmentación ( $X_{50}$ ) (ver ecuación N°14).

Comportamiento de la fragmentación según modelo de Kuz-Ram.

El punto que indica el porcentaje de volumen de fino. (Ilustrada en la Fig. N° 30)

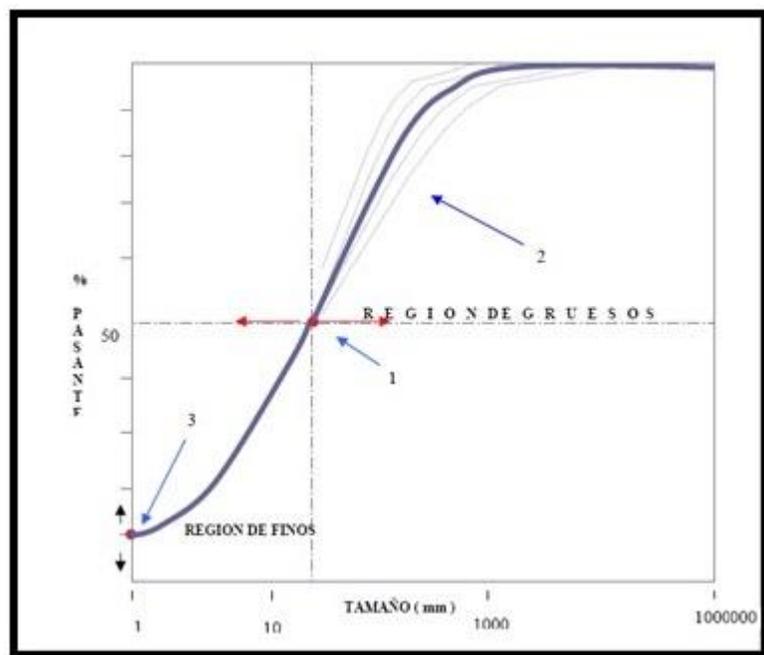


Figura N° 30 Curva de distribución (Montoya (2001))

$$R(x) = 1 - e^{-0,693 * \left(\frac{x}{x_c}\right)^n}$$

Ecuación N° 14

Con:

R(x): Porcentaje Pasante del material.

X50: Tamaño medio de fragmentación, entregado por Kuznetsov.

n: Índice de Uniformidad determinado por Cunningham.

La zona de fracción fina está definida por dos puntos de la curva, el primero corresponde al tamaño medio X 50 y el segundo corresponde a la generación de finos, la cual establece que el tamaño de partículas es menor a 1 cm donde la presión del explosivo supera la resistencia de compresión de la roca.

A partir de estos modelos matemáticos para la evaluación de la fragmentación planteados en los ochenta, se comenzaron a desarrollar software que a partir de imágenes fotográficas, pueden dar una estimación de porcentaje para la evaluación de material resultante de la voladura. Uno de los más utilizados es el llamado Split.

### **Split-Online Sistema de Análisis de Fragmentación**

El software Split-Desktop permite la cuantificación de roca fragmentada en varios lugares en todo el proceso de trituración. Para empezar a utilizar el software, no debe haber un mecanismo (software y / o hardware) para la adquisición de imágenes digitales a continuación, descarga digital o imágenes de la cámara de vídeo en la computadora. El último software es compatible con Fire Wire (IEEE 1394) como un método de la obtención de imágenes desde cámaras de vídeo que tienen salida de vídeo digital. Para obtener imágenes de la cámara digital de la cámara software permite guardar las imágenes en formatos JPEG o TIFF, que puede importar de Split.

Para las cámaras de vídeo, que no son compatibles con salida digital, un capturador de marco es necesario para digitalizar la señal de vídeo. Split Ingeniería recomienda el uso de cámaras digitales a las imágenes de mayor resolución y mayor calidad de las imágenes se pueden obtener.

Estas imágenes puede ser una pila de escombros, camiones de acarreo, la pila de lixiviación, dibuje el punto, vertido de residuos, almacenamiento, cinta transportadora, o

cualquier otro lugar donde las imágenes claras de fragmentos de roca se pueden obtener. Una vez que las imágenes son tomadas y guardado en un ordenador, el software Split-Desktop tiene cinco pasos progresivos para el análisis de cada imagen.

El primer paso en el programa le permite a la escala que se determinará para cada imagen tomada en el campo. El segundo paso lleva a cabo la delimitación automática de los fragmentos de cada una de las imágenes que se procesan. El tercer paso permite la edición de los fragmentos delineada para asegurar resultados precisos. El cuarto paso consiste en el cálculo de la distribución de tamaño basada en los fragmentos delineado. Por último, el quinto paso se refiere a la gráfica y varias salidas para mostrar los resultados de distribución de tamaño.

Las recientes mejoras y actualizaciones al software de Split-Desktop han dado lugar a una funcionalidad mejorada, una mayor facilidad de uso, así como algunas nuevas características. En un solo paso del programa (escala), menor número de clics del ratón son ahora necesarios debido a una sola entrada del tamaño conocido de ampliar los objetos utilizados y el recuerdo de esa escala de imagen como un conjunto de imágenes se escalan con los objetos de escala misma.

Dependiendo de la cámara de resolución, la escala y la distancia a partir de material cuando se toma la imagen, no es muy probable que ser importante en las imágenes que está por debajo del tamaño apreciable en términos de píxeles. El tamaño de lo que se clasifica como multas depende de la escala de la imagen y las partículas que se pueden ver en ella. La identificación errónea de los parches de multas en forma de partículas de gran tamaño puede crear importantes errores en el cálculo de la distribución de tamaño y es un error común en los programas de la fragmentación de imágenes. Esta versión se le permite al operador para corregir errores de identificación, que puede llevar mucho tiempo dependiendo de la calidad y la complejidad de la imagen. En esta última versión, la usuario tiene la opción para que el programa automáticamente identificar regiones de las multas dentro de la imagen. Esto es consumado con la incorporación de una clasificación textura de nuevo desarrollo, que vuelve de nuevo sobre la mayor partícula delineado en la imagen (cuyo número es seleccionado por el usuario) y los clasifica como multas o partícula basada en la medición de la textura (La Rosa, et al 2001). Las áreas clasificadas como las multas son automáticamente llena con un color definido por el usuario para representar las multas. Debido al tratamiento intensivo y algoritmo de auto elementos de identificación, toma unos segundos más para procesar una imagen al

seleccionar la identificación de las multas Otras mejoras en el paso dos del software incluyen la posibilidad de delimitar las partículas de forma manual y variar la edición de colores de acuerdo a la preferencia de los usuarios. El software necesita partículas de aproximadamente cincuenta en la imagen delimitar correctamente de forma automática. En situaciones determinadas condiciones ambientales evitar que el usuario tome buenas imágenes. Cuando muy pocas partículas están presentes, puede ser prudente para delinear manualmente las partículas en la imagen.

En la presentación de la producción, en cinco pasos, el software ahora tiene la capacidad para generar automáticamente un informe a mostrar los datos gráficos y tabulares en formato HTML. Por último, a través del uso continuo del software, las ideas para nuevas características y mejoras seguirán siendo integradas.

## **CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA**

### **4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación que se va a llevar a cabo es una investigación de campo, ya que permitió tener un conocimiento a fondo e intervenir en el proceso de voladura para manejar los datos con más seguridad.

### **4.2. DISEÑOS DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño de la investigación fue de tipo experimental para la elaboración del diseño hay, al menos, una variable independiente de forma intencional, (diámetro de perforación, factor de carga, resistencia de la roca) a fin de lograr que las variables dependiente (espaciamiento, retiro, retacada, sobreperforación) se ajusten a la realidad del yacimiento para de esta manera lograr un diseño con característica técnico- económica óptima.

### **4.3. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS**

Como instrumentos se empleó todos los informes que contenga datos geotécnicos sobre el macizo rocoso del yacimiento de la mina, además se utilizó una hoja de cálculo y software de modelamiento de voladura. En cuanto a las técnicas, se tomaron las fórmulas matemáticas aplicables para la obtención teórica de un patrón teórico para poder realizar el ajuste necesario en el diseño de patrón de perforación y voladura.

### **4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población la conforma todas las voladuras ejecutadas durante los meses de septiembre a noviembre en las distintas fosas de la Mina Choco 10 y la muestra va estar conformada específicamente por las voladuras ejecutadas en los frentes de explotación donde se halló mineral durante la investigación.

## **4.5 ANÁLISIS DE DATOS**

El análisis de los datos obtenidos se hizo de forma cuantitativa y cualitativa y con los instrumentos anteriormente señalado, se realizó una interpretación con el objetivo de recomendar las modificaciones necesarias para obtener un diseño de los patrones de perforación y voladura que ofrezca un mejor ajuste para necesidad que tiene hoy en día la mina. Por tanto se establecieron en este trabajo dos etapas para la ejecución de todas actividades para la construcción de mismo.

### **4.5. 1 Primera Etapa**

La primera etapa consiste en un análisis teórico, donde se realizaron los siguientes pasos:

- Recopilación de datos geotécnicos de la roca existente de la mina. Para comenzar establecer los parámetros que son necesario para el diseño de un patrón de perforación y voladura es necesario establecer características geomecánicas de la roca, por tanto se realizó una compilación de todos los informes técnicos de la Gerencia de Mina para recabar la información necesaria para obtener datos de resistencia a la compresión, relación de Poisson, entre otros, para así hacer una caracterización de la roca perteneciente a la mina Choco 10.
- Una vez realizada la caracterización de las rocas perteneciente a la mina Choco 10 se establecieron las variables que influyen dentro del patrón de voladura, para ello se basó en el empleo y aplicación de las teorías establecidas para definir estos parámetro y a las características de la mina en cuanto a su diseño
- Posteriormente se ejecutaron una serie de cálculos para la determinación de una malla teórica del patrón de perforación, para ello se utilizó específicamente los procedimientos definidos por los autores Langefors, Konya, Jimeno, y el manual práctico de EXSA. (Ver Tabla N° 9)

Tabla N° 9 Ecuaciones para el cálculo de Retiro

Autor	Fórmula para calculo de retiro
Langefors	$B(m) = \frac{D(mm)}{33} * \sqrt{\frac{\rho_{EXP} * PRP}{C * F * S/B}}$
Konya	$B(pies) = 3,15 * D(pulg) (\rho_{EXP} / \rho_{ROCA})^{0,32}$
Jimeno	$B(m) = 0,76 * D(pulg) * \left( \frac{2,7 * 3500}{\rho_{roca} * vc} \right)^{0,33} * \left( \frac{\rho_{EXP} * VB^2}{1,3 * 3660^2} \right)^{0,33}$
Konya y Walter	$B(pies) = \left( \frac{2 * \rho_{EXP}}{\rho_{ROCA}} + 1,5 \right) * D(pulg)$
Manual Práctico de EXSA	$B(m) = 32 * D(m)$

- Una vez obtenido el cálculo del retiro, según la teoría parámetro crítico para el establecimiento de la malla perforación, se ejecutaron los cálculos para la determinación de la carga columna de cada uno de los barrenos, para ello utilizamos las siguiente formulas (Ver Tabla N° 10):

Tabla N° 10 Ecuaciones para el Diseño de Carga

TACO	altura taco (m)= 0,7* retiro
CARGA	<p>altura carga (m)= Long de barreno –taco</p> <p>Carga Lineal (kg/m)= <math>\frac{\rho_{explo} * D^2}{1276}</math></p> <p>carga Total(kg) = carga total* altura carga</p> <p>FC= (carga (kg*m) )/(B*E*H<sub>banco</sub>)</p>

- Recopilación de un registro histórico de las voladuras realizadas, con el fin obtener información sobre cómo se maneja los parámetros de diseño del patrón de perforación y voladura en la mina.
- Mediante el del modelo Kuz- Ram se realizó una predicción teórica de la fragmentación con distinta malla de perforación para comparar las distintas voladura, para ello se utilizó una hoja Excel programada de manera que a medida que se van modificando los valores de los parámetros (espaciamiento, retiro, diámetro de perforación, etc.).

#### **4.5.2 Segunda Etapa**

La segunda etapa se dividió en dos fases, una primera fase de planificación y ejecución de voladura, y una segunda fase de evaluación y análisis de la fragmentación para el establecimiento de los diseños de patrones de perforación y voladura.

##### **1° Fase Planificación y Ejecución**

De acuerdo a la operación que se lleva en la mina choco 10 para la ejecución de la voladura se procede de la siguiente manera:

- Limpieza y acondicionamiento del área a perforar y volar.
- Marcado del patrón a perforar establecido (ver figura N°31).



**Figura N° 31 Marcado de Patrón (fuente propia)**



**Figura N° 32 Perforación de Barrenos (fuente Propia)**

- Una vez realizada las perforaciones del patrón diseñado (ver figura N°32) se procede el cebado y cargar de los barrenos. Para cargar los barrenos se procede primero el cebado, que no es más que la colocación un fulminante con su respectivo cable detonador y luego mediante un camión mezclador se procede a la carga final de los barrenos con emulsión con una mezcla

70/30 utilizado típicamente en la mina de gran escala se procede a la carga final de los barrenos.



**Figura N° 33 Labores de carga en frente de Voladura (fuente propia)**

- Por último se realiza el amarre de la voladura de acuerdo a un diseño estudiado y aplicado a cada caso buscando evitar a medida de lo posible la dilución del material y finalmente la ejecución de la voladura (ver figura N°33).

## **2° Fase Campo Evaluación y Análisis de la fragmentación**

Esta fase corresponde a la evaluación y/o seguimiento a una serie de voladuras en la cual los resultados obtenidos serán evaluados en función a los siguientes parámetros:

1. Tamaño de la fragmentación del material
2. Desplazamiento del material Volado
3. Rendimiento de los equipos de carguío
4. Evaluación de los parámetros de diseño

Asimismo se define un formato de evaluación general para la voladura que nos permita establecer de manera ordenada un real resultado de la misma.

### *1. Tamaño de la fragmentación del material*

Al no contar con un Sistema que permita obtener la mayor aproximación a los porcentajes de fragmentación reales (Split, Widfrag), se ha definido una medida experimental de la misma, mediante el empleo de los tamaños de las áreas de recepción de mineral con que cuenta el sistema de planta y se asignó un valor a dichos porcentajes de acuerdo al material que pasa por estas áreas.

En su operación PMG, cuenta con dos tolvas de recepción de mineral.

- Tolva Principal. –cuando la fragmentación presenta un tamaño muy grande todo el material es derivado a este lugar, en la tolva se tiene un una criba de ingreso de 50 x 50 todo el material que pasa por esta malla llega a trituradora de mandíbula para posteriormente continuar el proceso de recuperación.
- Tolva Auxiliar.- cuando la fragmentación presenta un tamaño regular el material es derivado a esta Tolva donde existe una criba de 22 x 22 y por tanto el material es pasado directamente al proceso de recuperación.

**Tabla N° 11 Parámetros para la evaluación de la fragmentación en campo**

<b>Grueso</b>	$x > 50 \text{ cm}$
<b>Medio</b>	$50\text{cm} < x < 22\text{cm}$
<b>Fino</b>	$x < 22 \text{ cm}$

### *Secuencia de Control*

La secuencia que estableceremos con la finalidad de tratar de Cuantificar los Porcentajes de Fragmentación será:

- Dividir en tramos de 25 metros el largo de la voladura y proceder a asignar un porcentaje de acuerdo al cuadro preestablecido, a la fragmentación que se observa en superficie.

- Un seguimiento diario a la cara del frente (sección transversal que queda producto del avance del carguío) y asignaremos nuevamente un valor a la fragmentación.
- Al final se hará un cuadro final que dé un promedio de los porcentajes de fragmentación observada.
- Toda esta evaluación irá acompañada de material fotográfico que permita visualizar y tener un registro.

## *2. Desplazamiento de Material Volado*

Este factor de evaluación tiene que ver con el concepto de Dilución, que en minería de oro se hace muy evidente y mucho más cuando el cuerpo mineralizado corresponde a un relleno de fracturas y vetillas.

Se entiende por dilución a la pérdida de valor del mineral económico originado por la mezcla de mineral con material estéril.

El proceso de identificación de las zonas mineralizadas tiene como punto de partida los resultados de contenido de mineral (tenor) de los barrenos perforados los que son encerrados en polígonos de formas irregulares en la mayoría de casos, la delimitación y la configuración de los mismos corresponde al departamento de geología (Grade Control).

Como ocurre el fenómeno:

- Cuando se genera un desplazamiento muy fuerte de la pila a volar se tiene que puede ocurrir un esponjamiento muy grande en la parte central que se origina porque el material que se encuentra pegado hacia las paredes finales a sido desplazado hacia la parte central pudiéndose dar el caso que este material se sobreponga sobre material estéril o viceversa.
- O cuando se tiene desplazamientos laterales muy fuertes normalmente hacia la cara libre se origina que la ubicación de los polígonos que mantienen su posición geográfica no guarden relación con el desplazamiento del material.

En ambos casos ocurre una pérdida de material y/o incremento del mismo dependiendo de la ubicación del polígono mineralizado. En la siguiente figura N°34 muestra el fenómeno.

Definir un parámetro de evaluación puede ser complicado y realmente este queda finalmente a la evaluación propia del observador, quien deberá cuantificar el posible desplazamiento ocurrido y asignar una calificación.

Se tiene por lo general que los esponjamientos deben estar entre un rango de 15 a 20% de la longitud del taladro.

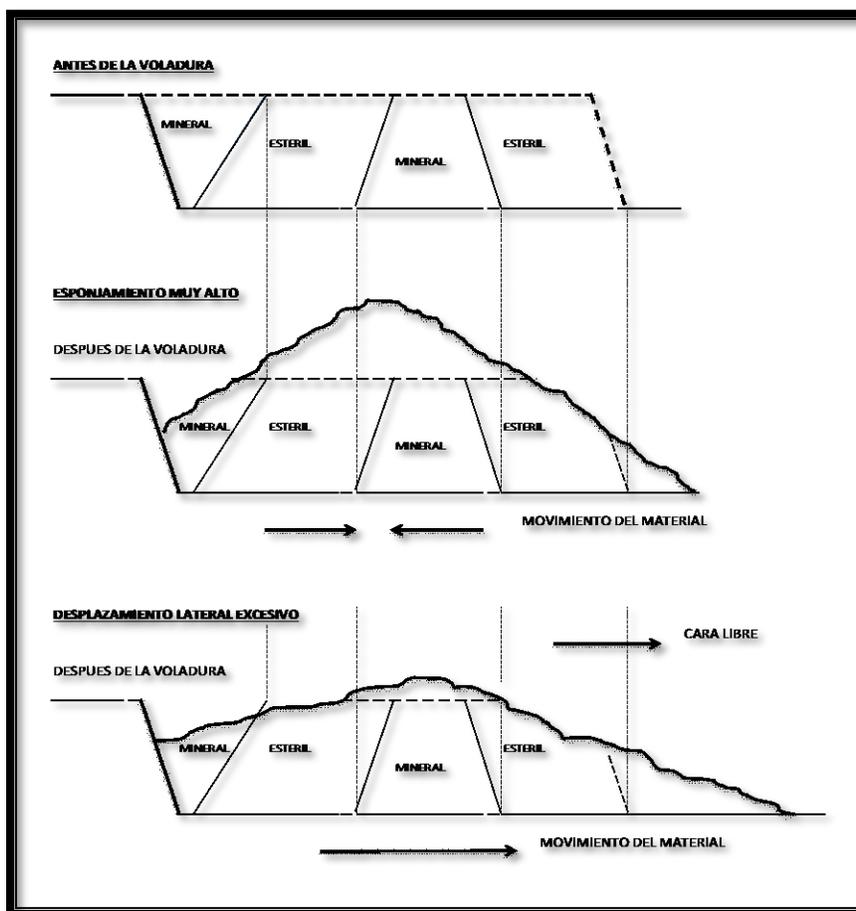


Figura N° 34 Desplazamiento de Material Volado, Fenómenos de dilución. (Fuente Propia).

### *3. Rendimiento de los equipos de carguío*

Uno de los objetivos fundamentales de la voladura es que con los resultados debe lograrse la optimización de las operaciones de carguío y acarreo.

Entonces el rendimiento de estos equipos se vuelve una medida de la calidad del resultado porque nos permite ir verificando factores como:

- Calidad de la Fragmentación
- Dureza de la pila
- Calidad del Piso o Nivel
- Verificar la presencia de “Desnivel”

Como afectan los puntos mencionados en el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo:

- Dificultad de carguío por tamaño excesivo de la fragmentación
- Muchas veces es necesario realizar una operación de selección del material
- Pérdida de capacidad de carga en los equipos de transporte y en los equipos de carga
- Posibilidad de dañar las tolvas o cajones de los equipos de acarreo por sobredimensionamiento del material
- Excesivo mantenimiento de los frentes de trabajo por irregularidades en los pisos

Si se trata de resumir en un punto todo lo mencionado se ve que básicamente todo está dirigido a la Pérdida de Tiempo de Operación (Eficiencia).

En pocas palabras tratándose de los equipos de carguío se necesitaran más horas para cargar y si lo llevamos al transporte se necesitaran más horas de transporte para transportar, en resumen más horas para producir lo mismo, finalmente un mayor Costo de Minado.

Este punto suele ser muy controversial cuando solo se analiza el rendimiento de los equipos  $T_n$  Producidas/Hora, por cuanto existen muchos factores adicionales que pueden influir en

el análisis y resultados del mismo, lo que se hace normalmente es llevar un control visual alternadamente según el avance y medir las pérdidas de tiempo ocasionadas realmente por los resultados de voladura, debido a ocurrencias como las mencionadas.

Pero suele ser una buena medida de la calidad las Ton Producidas/Hora por los Equipos de Carguío cuando existe una Evaluación Correcta y libre de Orientaciones.

#### *4. Evaluación de los Parámetros de Diseño*

Cuando se habla de revisar los parámetros de diseño no se habla solamente de revisar los Parámetros de Perforación y el Diseño de Carga en su diseño original y comparar con el resultado de la voladura.

Existen una serie de análisis que se pueden efectuar en los cuales se tiene una suma de diferentes factores que en un grado de mayor o menor influencia muestran su influencia en el resultado final que es la voladura en sí.

No existe un porcentaje de influencia cuantificado teóricamente ni experimentalmente para cada uno de ellos pero se sabe que si tienen influencia en el resultado final, dentro de estos factores podemos mencionar:

- Ubicación de los barrenos de Perforación (Perforación Real vs Perforación Diseño)
- La Altura de Perforación Planificada de cada uno de los barrenos (Altura Barreno + Sobre perforación)
- Correcto Carguío de los barrenos Individualmente en función al Diseño de Carga
- Calidad de la Mezcla Explosiva (Porcentajes de Nitrato, gas oil y Emulsión en función al Tipo de Mezcla Explosiva a emplear)
- Secuencia de Encendido (Dirección del Movimiento del Material)
- Tiempos de Retardo (Correcta Secuencia de Encendido, Control de Vibraciones)
- Dispersión de los Retardos (Conocer y Evitar el Adelantamiento de Encendido Fuera de Secuencia)

La idea en general es optimizar y tener bajo control todos los posibles factores que pueden ser causa y origen para la obtención de un resultado inapropiado.

Resumiendo todos los puntos anteriores que se han mencionado se elaboraron tres reportes (ver figuras Ns°35,36 y 37) de control que nos permitirán ir conociendo los resultados.

VOLADURA N° _____	
<b>DATOS GENERALES</b>	
LUGAR NIVEL	FECHA
<b>DATOS DE DISEÑO</b>	
ESPACIAMIENTO RETIRO	ESQUEMA DIAMETRO DE TALADRO
ALTURA PROMEDIO DE PERFORACION SOBREPERFORACION NUMERO DE TALADROS A PERFORAR	
<b>DATOS DE CARGUIO DE EXPLOSIVO</b>	
TIPO DE EXPLOSIVO	<u>MEZCLA EXPLOSIVA</u>
<div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 150px; margin-left: 20px;"></div>	ANFO EMULSION
	FACTOR CARGA <span style="float: right;">Kg_Expl/Mt3_Material</span>

Figura N° 35 Formato de datos de Diseños y Carga de Explosivo para las Voladura (Fuente Propia)

FECHA
TURNO
CALIDAD DE LA FRAGMENTACIÓN
_____
_____
_____
EVALUACION HORIZONTAL DE LA CADA 25 MT

**Figura N° 36 Formato para la Evaluación de la Fragmentación Post Voladura (Fuente Propia)**

FECHA
TURNO
DESCRIPCIÓN OPERATIVAS
NIVEL DE PISO : _____
_____
_____
PRESENCIA DE DESNIVELES
_____
_____
_____
DUREZA DE LA RUMA
_____
_____
_____
CALIDAD DE LA FRAGMENTACION

**Figura N° 37 Formato para la Evaluación de la Fragmentación de acuerdo al avance del Equipo de acarreo. (Fuente Propia)**

Por último se presentara el registro de una serie de voladuras que fueron controladas como parte de este trabajo, la mecánica de evaluación seguirá los puntos tratados anteriormente

- Plano de Ubicación y diseño de la voladura a efectuar
- Formato de Diseño General de la Voladura
- Secuencia de Diseño de Encendido
- Registro Fotográfico Después de Ejecutada la voladura
- Formato de Evaluación General con Soporte Fotográfico
- Formato de Seguimiento Diario con Soporte Fotográfico

Las voladuras realizadas ocurrieron en los distintos yacimientos que son explotados dentro la mina choco 10, estos son Rosika, Coacia y Pisolita. Durante la realización de este trabajo, las voladuras de producción fueron específicamente en Coacia y Pisolita, debido a criterios operativos y necesidad de la mina.

## **CAPÍTULO V.**

### **RESULTADO Y DISCUSION**

La única forma cuantificable de medir si un cambio en los parámetros de diseño tanto de malla como de carga de explosivo, dan resultados, es simplemente llevando a efecto la voladura con estos nuevos parámetros evaluándolo y esperando un resultado óptimo.

Ahora bien, existen criterios y estudios que nos permiten reducir el riesgo de obtener un mal resultado por lo que este trabajo se enfoca a revisar ambos puntos el teórico como el aplicado actualmente y encontrar o hallar si mantienen una relación, también desarrollaremos y aplicaremos a el análisis el Método de Predicción de Kuz-Ram

La secuencia a seguir será:

- 1.- Determinación de los diseños teóricos, tanto para los parámetros de perforación como para los de los carga en función de los parámetros geomecánicas de la roca
- 2.- Evaluar los resultados obtenidos en las voladuras efectuadas en campo en función a determinados parámetros de evaluación.

#### **5.1 ANÁLISIS TEÓRICO**

En esta sección se aboca a la obtención de los diseños recomendados tanto para el Patrón de Perforación, para como el diseño de carga, por las diferentes fórmulas y autores en la materia, la mayoría de estas se basan en las propiedades geomecánicas de la roca que se combinan con los parámetros de Diseño de la y las características del explosivo que se emplea (Altura de Banco, Densidad del Material, Tipo de Explosivo, Sobre perforación etc.).

### 5.1.1 Caracterización de macizo rocoso de la mina choco 10

Las estructuras dominantes controlan la mineralización en el Chocó 10 los depósitos se dividen en alta tensión y baja tensión, que se distinguen por la intensidad de la foliación. La mineralización de oro de mayor grado se produce con pirita, carbonatos, silicificación fuerte y vetas de cuarzo en las zonas de baja tensión, que se caracterizan por foliaciones variables. Las zonas de alta tensión no son generalmente bien mineralizada y se caracteriza por ser plana y foliaciones poco espaciadas. La mineralización mejora en los contactos litológicos proporcionando gran competencia, como el contacto entre volcaniclásticos intermedios y máficas y entre el flujo de basalto y brecha superior.

Por medio de la clasificación de las se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir numéricamente la calidad de la misma. De acuerdo a ensayos realizados a las rocas de la mina chocos en 2003 se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla N° 12 Clasificación del Macizo Rocos Sistema Parámetros**

<b>Unidad litológica</b>	<b>RMR</b>	<b>RMR</b>	<b>RMR</b>	<b>Calidad del macizo Rocos</b>
	<b>(max)</b>	<b>(ave)</b>	<b>(min)</b>	
Gabro	75	21	7	Buena
Intermedia Volcaniclásticas	33	8	2.3	Regular- Pobre
Basalto	33	13	5	Buena
Sericita Basalto	10	4	1.5	Regular - Pobre

**Tabla N° 13 Prueba de Laboratorio – Propiedades de Roca Intacta**

Litología	Densidad	UCS	Modulo De Young	Ratio De Poisson's
	kg/m <sup>3</sup>	(MPa)	(GPa)	
Basalto	2.90	190	70	0.24
Basalto Foliado	2.80	120	50	0.29
Gabro	2.95	165	68	0.23
Gabro Foliado	2.90	55	35	0.17
Volcanicas Intermedia	2.70	95	50	0.26

**Tabla N° 14 Prueba de Laboratorio – Corte Directo**

Test	Litología	Cohesión Residual (MPa)	Angulo de Fricción Residual (°)
1	Basalto Foliado	0.16	47
2	Basalto Foliado	0.70	54
3	Basalto Foliado	1.80	60

Por tanto mediante la recopilación de los datos geotécnicos de la roca perteneciente a la mina choco 10 se observa que se caracterizan esencialmente una parte por ser unas rocas que posee una alta foliación y la otra parte por tener muy poca foliación. De acuerdo a los resultados que se presenta en las tablas 12, 13 ,14 es claro que la fragmentación será controlada por la presencia de esta foliación en el macizo.

### 5.1.2 Definición de parámetros

Como ya se dijo en la bases teóricas los parámetros para definir el diseño de un patrón de perforación y voladura son el retiro y espaciamiento, para posteriormente establecer un diagrama de carga para los barrenos de dicho patrón, por tanto en la tablas N°15 se muestra lo resultados de los cálculos de acuerdo a la formulación de cada autor para obtener como se ilustra en la tabla N° 17 un patrón promedio de perforación. Con este patrón promedio se estableció el diagrama de carga para los barrenos obteniendo los resultados que se observan en la tabla N°16.

**Tabla N° 15 Patrón Teórico de Perforación Por Autor**

AUTOR	H	B <sub>MAXIMO</sub>	B <sub>PRACTICO</sub>	E <sub>MAXIMO</sub>	E <sub>PRACTICO</sub>	SP	e'	
LANGERFORS	m	10	4,8	3,8	6,0	6,0	1,4	0,49
KONYA	m	10	4,4	5,5	5,1	6,3	1,3	0,33
EXSA	m	10	5,3	6,6	5,8	5,8	1,6	0,49
KONYA WALTERS	m	10	3,0	3,7	2,5	3,1	0,9	0,49
JIMENO	m	10	5,8	7,2	5,3	6,6	1,7	0,49

Para el diseño de carga teórico existen una serie de fórmulas que se basan en la altura de barreno para calcular lo que sería una altura de carga y de taco, para el factor de carga toman en cuenta la densidad del explosivo, que en el caso de PMG sería la mezcla (Emulsión/ ANFO): M 70/30.

A continuación, se muestran los resultados de los cálculos realizados para un diseño teórico de carga de acuerdo a los patrones de cada autor

**Tabla N° 16 Diagrama de Diseño de Carga Teórico**

AUTOR		LANGERFORD	KONYA	EXSA	KONYA &WALTERS	JIMENO	
TACO	Altura taco	m	3,4	3,1	3,7	2,1	4,1
CARGA	Altura carga	m	8	8,2	7,9	8,8	7,6
	Carga lineal	Kg/m	24,60	24,6	24,6	24,6	24,6
	Carga = carga total	Kg	196,80	201,72	194,34	216,48	186,96
	Factor de carga de carga	Kg/m <sup>3</sup>	0,68	0,90	0,63	2,89	0,61

Con los resultados obtenidos para ambos diseños y resumiendo lo anterior en las tablas N°s 17 y 18 se exponen a continuación un patrón de perforación y un diseño de carga promedio teórico.

**Tabla N° 17 Patrón de Perforación Promedio**

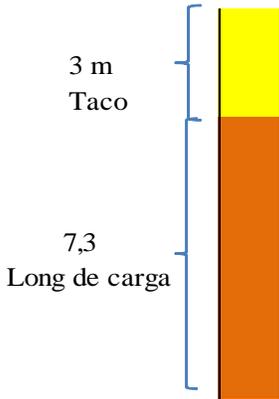
<b>H</b>	<b>B<sub>MAXIMO</sub></b>	<b>B<sub>PRACTICO</sub></b>	<b>E<sub>MAXIMO</sub></b>	<b>E<sub>PRACTICO</sub></b>	<b>SP</b>	<b>e'</b>
10m	4,6m	5,4m	4,9m	5,6m	1,4 m	0,46

**Tabla N° 18 Diagrama de Diseño de Carga Promedio**

<b>TACO</b>	altura taco	m	3,2
<b>CARGA</b>	altura carga	m	7,8
	Carga Lineal	Kg/m	24,57
	carga total	Kg	191,65
	Factor de carga de carga	Kg/m <sup>3</sup>	0,85

Con todos los datos obtenidos es posible ver que los patrones usados por PMG se encuentran dentro de los límites de los patrones teóricos calculados sin alcanzar los límites máximos. Ahora se hará una evaluación de la fragmentación para ver el comportamiento de la fragmentación en las distintas fosas de la Mina Choco 10.

## 5.2 EVALUACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DE LAS VOLADURAS (FASE DE CAMPO)

VOLADURA N° <u>22</u>	
<b>DATOS GENERALES</b>	
LUGAR Coacia NIVEL 195	FECHA 16/09/2010
<b>DATOS DE DISEÑO</b>	
ESPACIAMIENTO 5 m RETIRO 5 m	ESQUEMA Isósceles DIAMETRO DE BARRE 6 <sup>1/2</sup> pulg
ALTURA PROMEDIO DE PERFORACION 10,3 m SOBREPERFORACION 1 m NUMERO DE TALADROS A PERFO 270	
<b>DATOS DE CARGUO DE EXPLOSIVO</b>	
TIPO DE EXPLOSIVO	<u>MEZCLA EXPLOSIVA</u>
 <p>3 m Taco</p> <p>7,3 Long de carga</p>	<p>ANFO 30%</p> <p>EMULSION 70%</p> <p>DENSIDAD DE LA MEZCLA 1,19</p> <p>FACTOR CARGA 0,70 Kg_Expl/Mt3_Material</p>

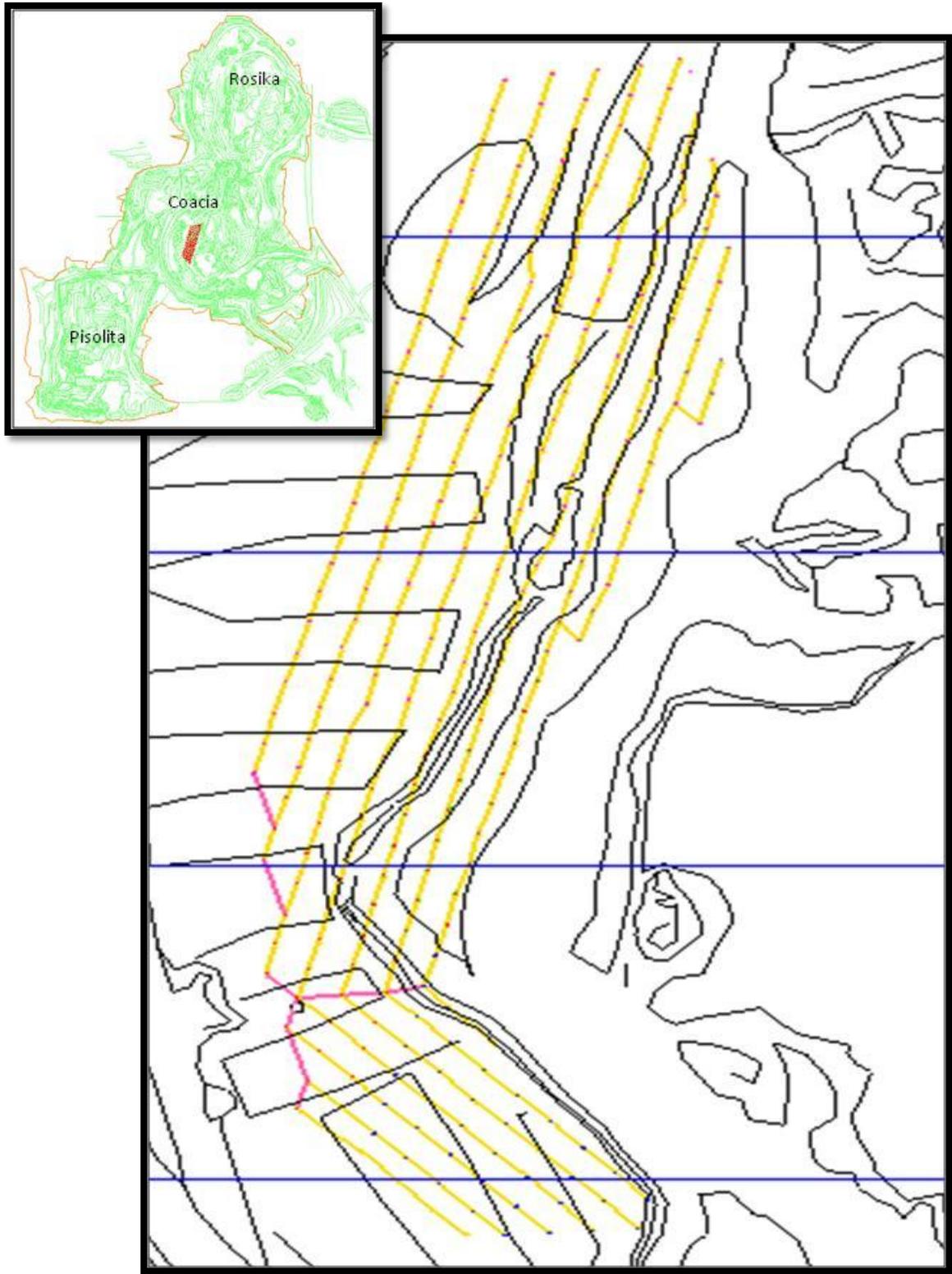


Figura N° 38 Ubicación, Diseño de perforación y encendido de la voladura N°22(Fuente P.M.G)

### 5.2.1 Evaluación Post Voladura N° 22

**Fecha:** 16/09/10

**Turno:** 7 a 3

**Descripción operativa:**

- La detonación de la voladura se llevó a cabo a las 12:15pm.
- Los equipos se trasladaron fuera del frente de voladura, a una distancia promedio de 250 metros, y deteniéndose las operaciones de producción a las 11:15am.
- No se presentó ningún problema operativo durante la ejecución de la voladura
- De acuerdo a procedimiento de seguridad se colocaron seis vigía quedando el área cerrada desde 11:45am
- Se observó que se produjo proyecciones de rocas hasta una distancia promedio de 180 metros, sin que hubieran riesgo a la maquinaria, ni al personal encargado de la voladura.

**Desplazamiento de Material:**

- La secuencia de encendido se originó en la parte central del disparo simulando una secuencia de a salida en L.
- El movimiento del material se produjo hacia la parte central tal como se esperaba, observamos un esponjamiento de 2 metros respecto del nivel de piso del banco volado.
- El material de las paredes laterales se desplazó hacia la parte central notándose un movimiento del material bastante fuerte en algunos sectores, generándose, como vacíos de 1 a 1,5 metros en algunos casos.
- La técnica que se uso fue la de encerrar el disparo para evitar que el material se extendieran en dirección de la cara libre.

## 5.2.2 Evaluación de Fragmentación de la Pila Post Voladura N°22

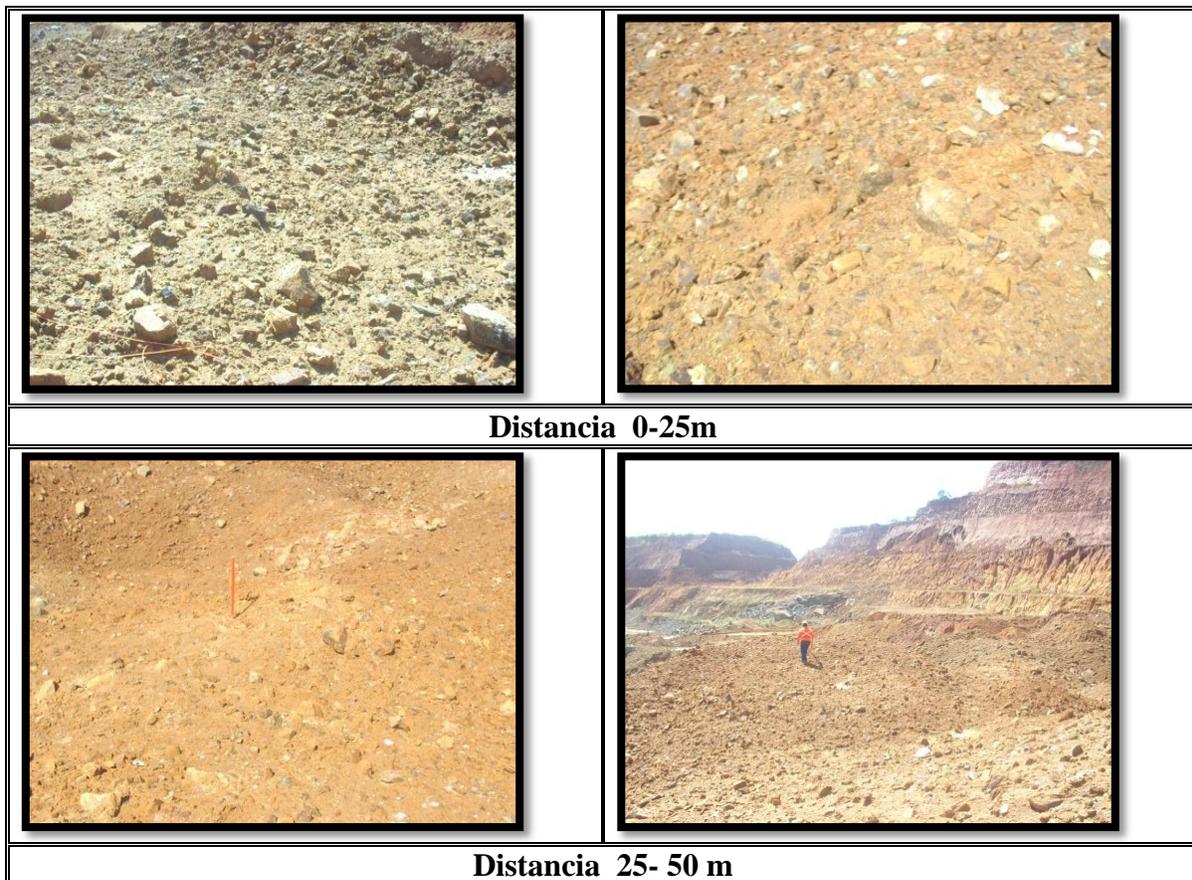
**Fecha:** 16/09/2010

**Turno:** 7 a 3

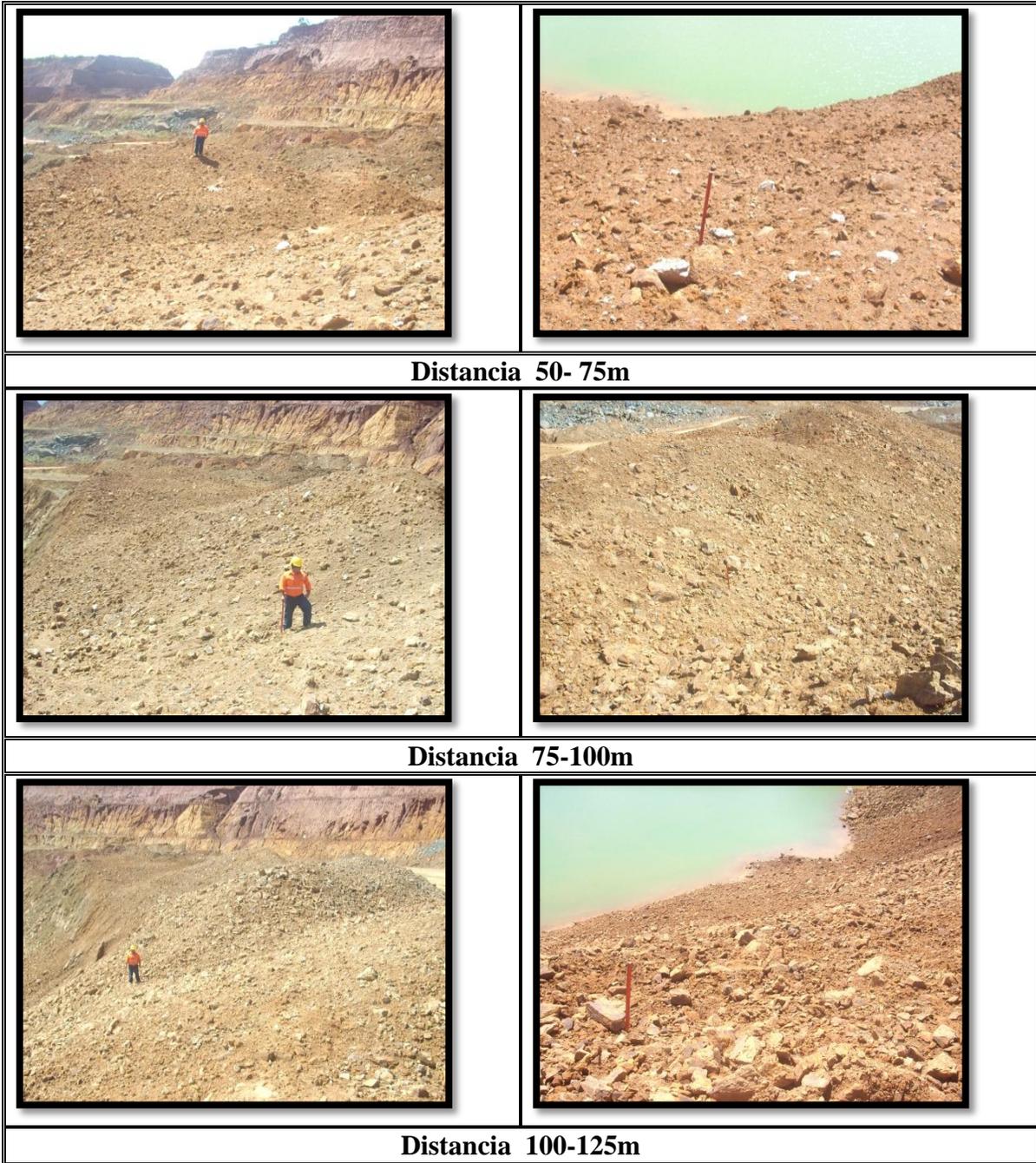
### **Calidad de la Fragmentación:**

- A lo largo de la pila formada por la voladura, se apreció que la calidad de la fragmentación, se fue desmejorando. A media que se avanzó, cada 25m se aprecia nítidamente este fenómeno alcanzando su valor máximo en el intervalo de 125 a 150 m donde se obtuvo una fragmentación gruesa en el orden de 35%.
- Es notorio que la variación geológica a lo largo del material volado y justamente donde se presenta este problema en mayor magnitud existen un cambio de litología.

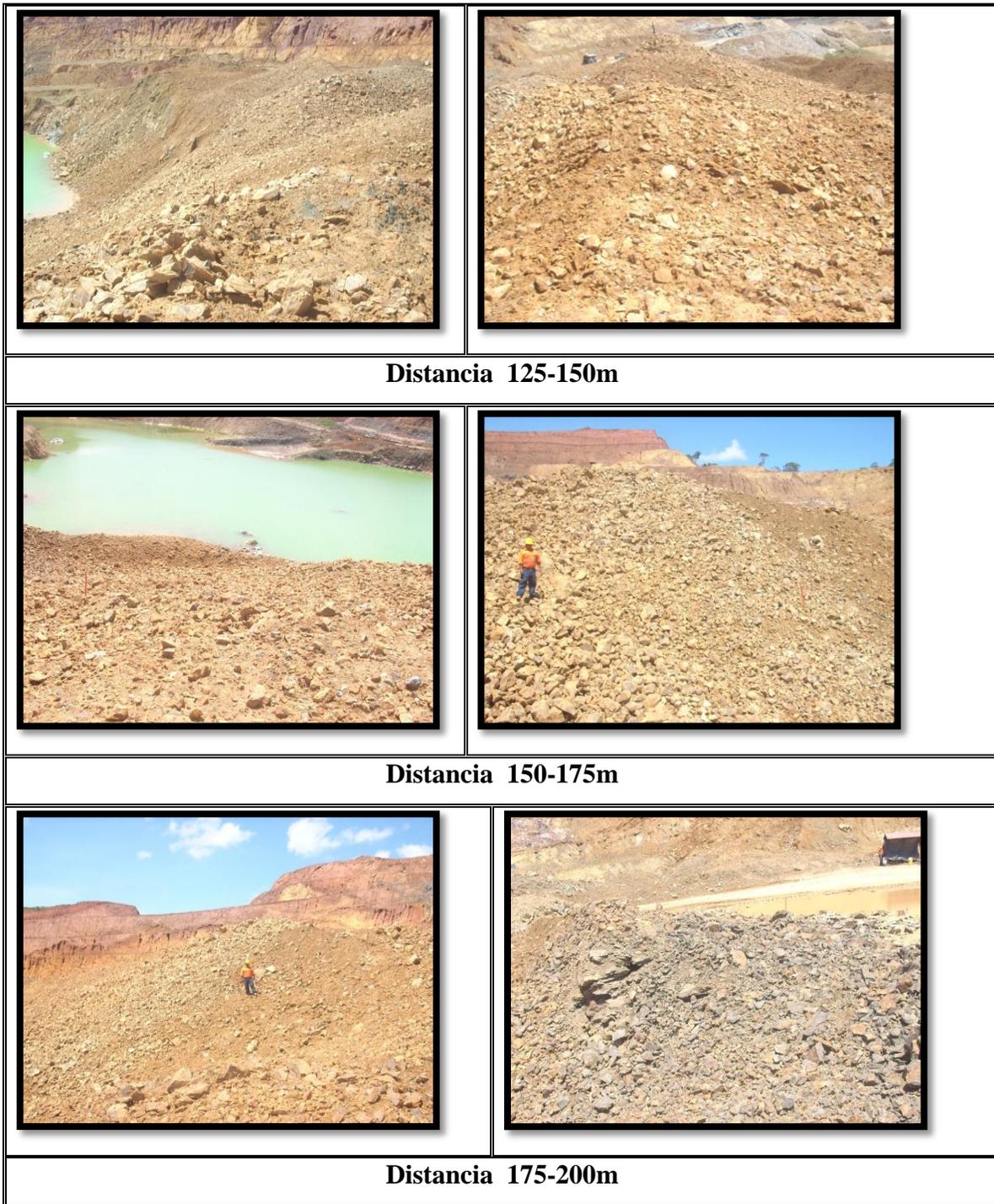
De acuerdo a lo anterior se expone la evaluación de fragmentación de la pila post Voladura N°22 según las distancias



**Figura N° 39** Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22(Fuente Propia)



**Figura N° 40 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22(Fuente Propia)**

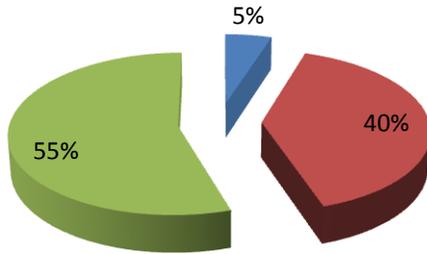


**Figura N° 41** Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22(Fuente Propia)

En los siguientes gráficos se muestran las proporciones del tamaño de la fragmentación según las distancias:

**Grafico N° 1** Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010

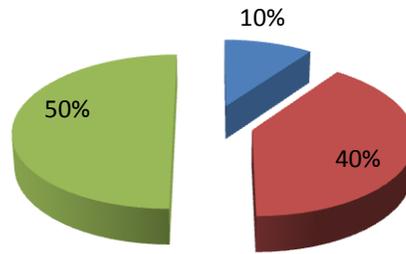
■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)



**Distancia 0-25m**

**Grafico N° 2** Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010

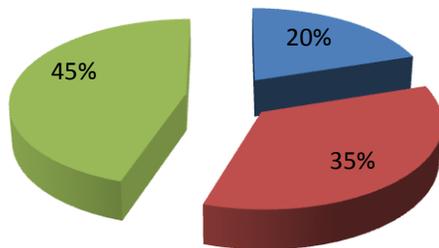
■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)



**Distancia 25- 50 m**

**Grafico N°3** Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010

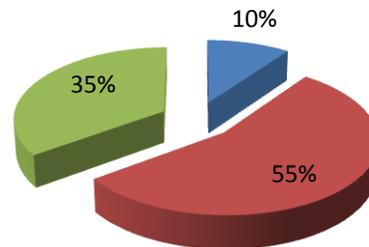
■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)



**Distancia 50- 75m**

**Grafico N° 4** Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010

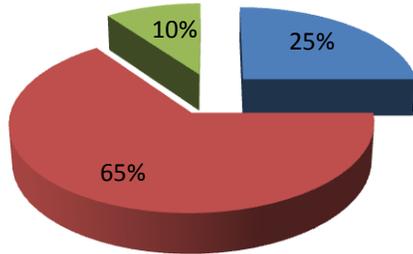
■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)



**Distancia 75-100m**

**Grafico N° 5 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**

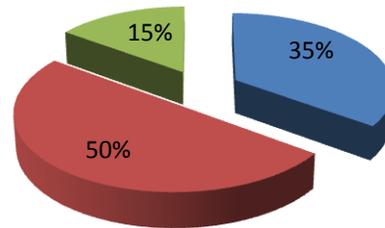
■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)



**Distancia 100-125m**

**Grafico N° 6 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**

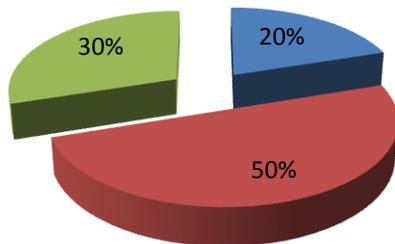
■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)



**Distancia 125-150m**

**Grafico N° 7 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**

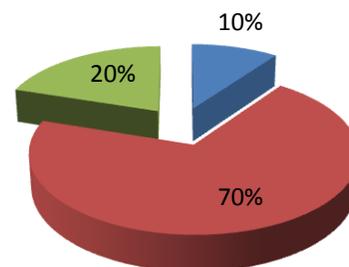
■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)



**Distancia 150-175m**

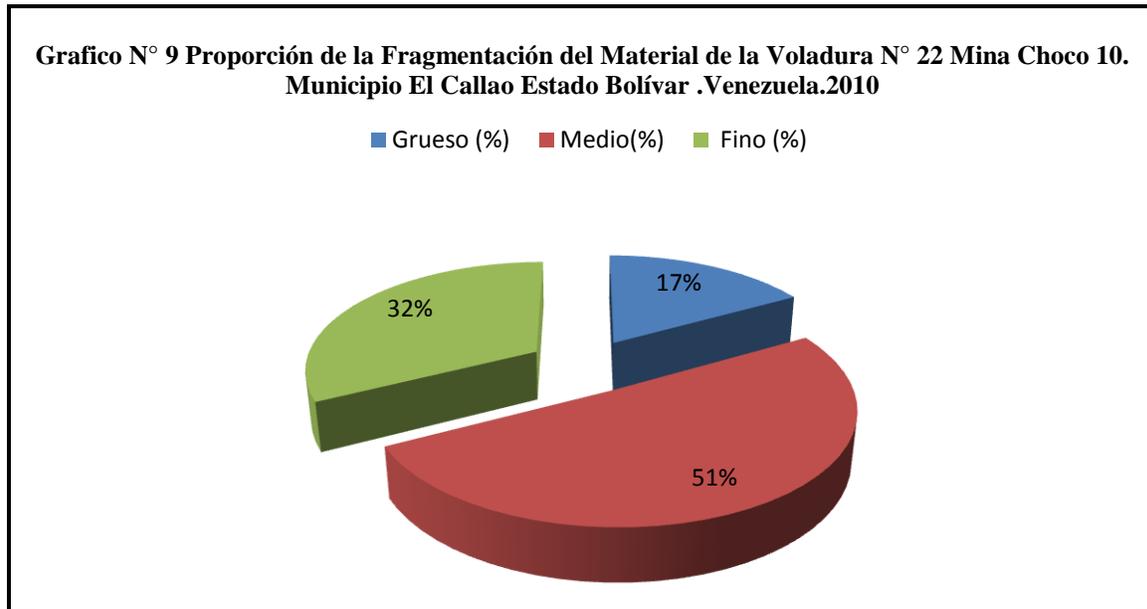
**Grafico N° 8 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**

■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)



**Distancia 175-200m**

De acuerdo a la primera evaluación la calidad de la fragmentación del disparo fue la siguiente:



### 5.2.3 Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 22 Día #1

**Fecha:** 05/10/10

**Turno:** 7 a 3

**Descripción Operativa:**

- Las operaciones se iniciaron a las 7:15 am dentro de frente se encontraban en operaciones una retroexcavadora Komatsu PC250 y 3 camiones Caterpillar 773D.
- Hubo un avance de 50 metros.

**Presencia de Desniveles en el Terreno:**

- No se observaron presencia de desniveles en el terreno dentro de este avance.

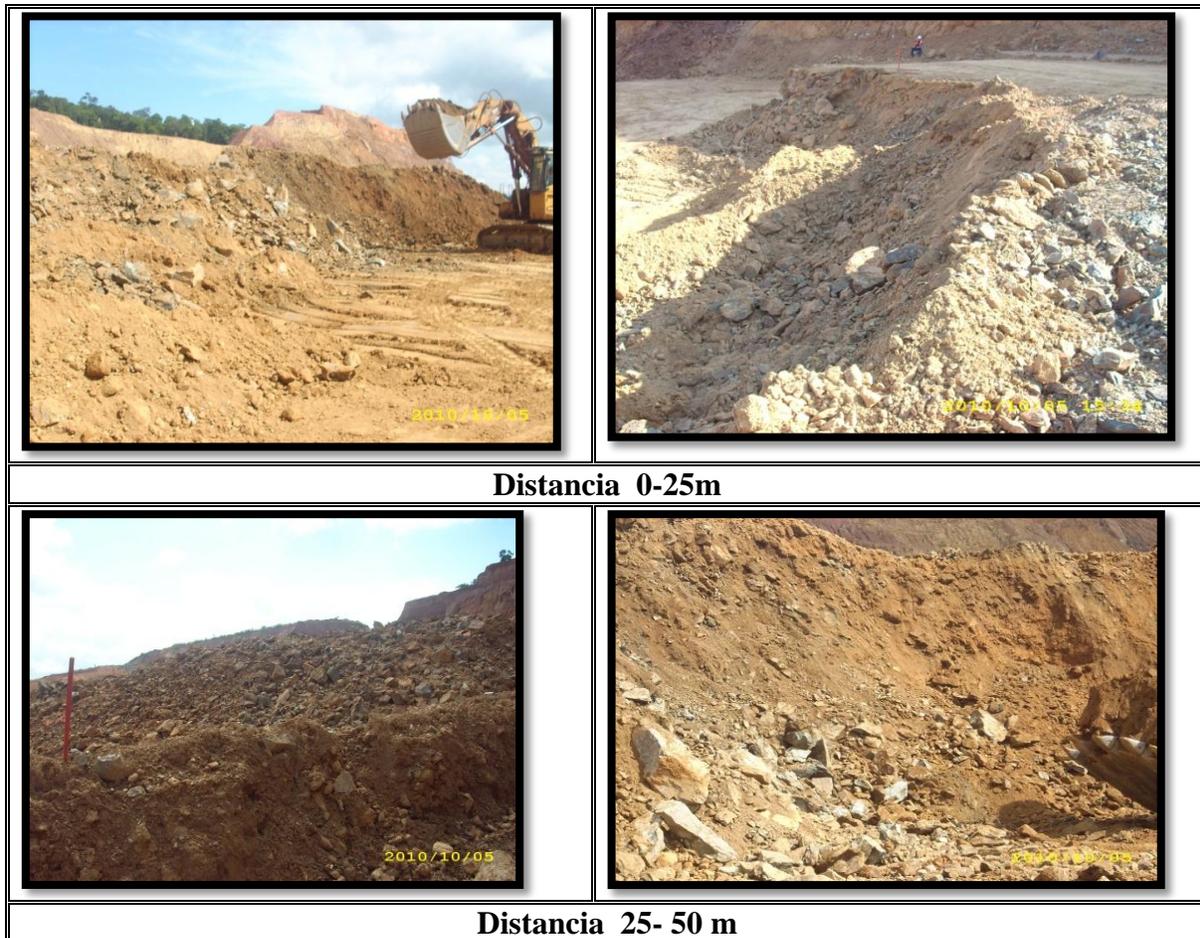
**Dureza del Material:**

- Se observó que a los 30 metros de avances el material que se encontraba allí, era más duro que el resto del todo el avance de estos primeros 50 metros.

**Calidad de la Fragmentación:**

- La calidad de fragmentación estuvo definida por un tamaño medio dentro de este avance, observándose solo un 18% de grueso.

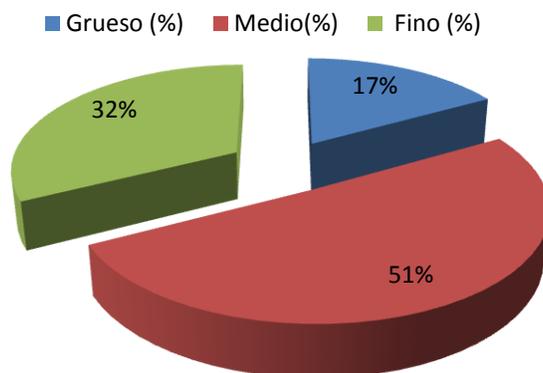
De acuerdo a lo anterior se expone la evaluación de fragmentación de la pila post Voladura N°22 según las distancias y el avance del equipo de acarreo:



**Figura N° 42 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22 (Fuente Propia)**

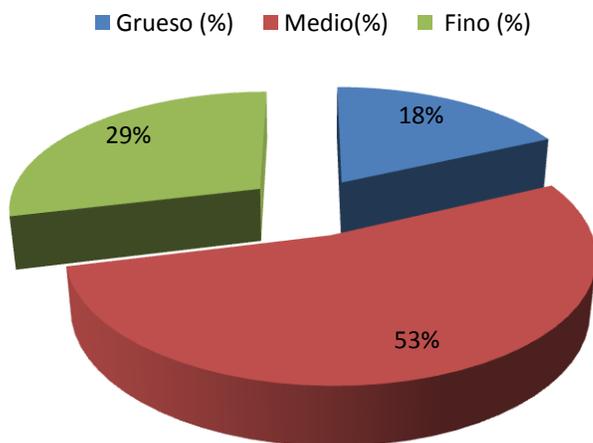
En los siguientes gráficos se muestran las proporciones del tamaño de la fragmentación según las distancias y el avance del equipo de acarreo:

**Grafico N° 10 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**



**Distancia 0-25m**

**Grafico N° 11 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**



**Distancia 25- 50 m**

#### **5.2.4 Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 22 Día #2**

**Fecha** 08/10/10

**Turno** 3 a 11

**Descripción Operativa:**

- Las operaciones se iniciaron a las 3:45 am dentro de frente por demoras de mantenimiento de la retroexcavadora Komatsu PC250, al igual que primer día de seguimiento, se acarreo con 3 camiones 773D Caterpillar y de acuerdo la a información de turno se ejecutó un acarreo por una hora de estéril y posterior mente se comenzó la extracción de los bloques de mineral.
- Hubo un avance de 50 metros.

**Presencia de Desniveles en el Terreno:**

- No se observaron presencia de desniveles en el piso dentro de este avance.

**Dureza del Material:**

- Se observó durante casi todo el avances la dureza de material se mantuvo uniforme, pero el parte final se observó un cambio de dureza debido a un cambio en la litología.

**Calidad de la Fragmentación:**

- La calidad de fragmentación tuvo un desmejoramiento el última parte del avance observándose un tamaño de grueso de 22 %, este aumento de grueso es debido a un cambio de la litología dentro del frente.

De acuerdo a lo anterior se expone la evaluación de fragmentación de la pila post Voladura N°22 según las distancias y el avance del equipo de acarreo:

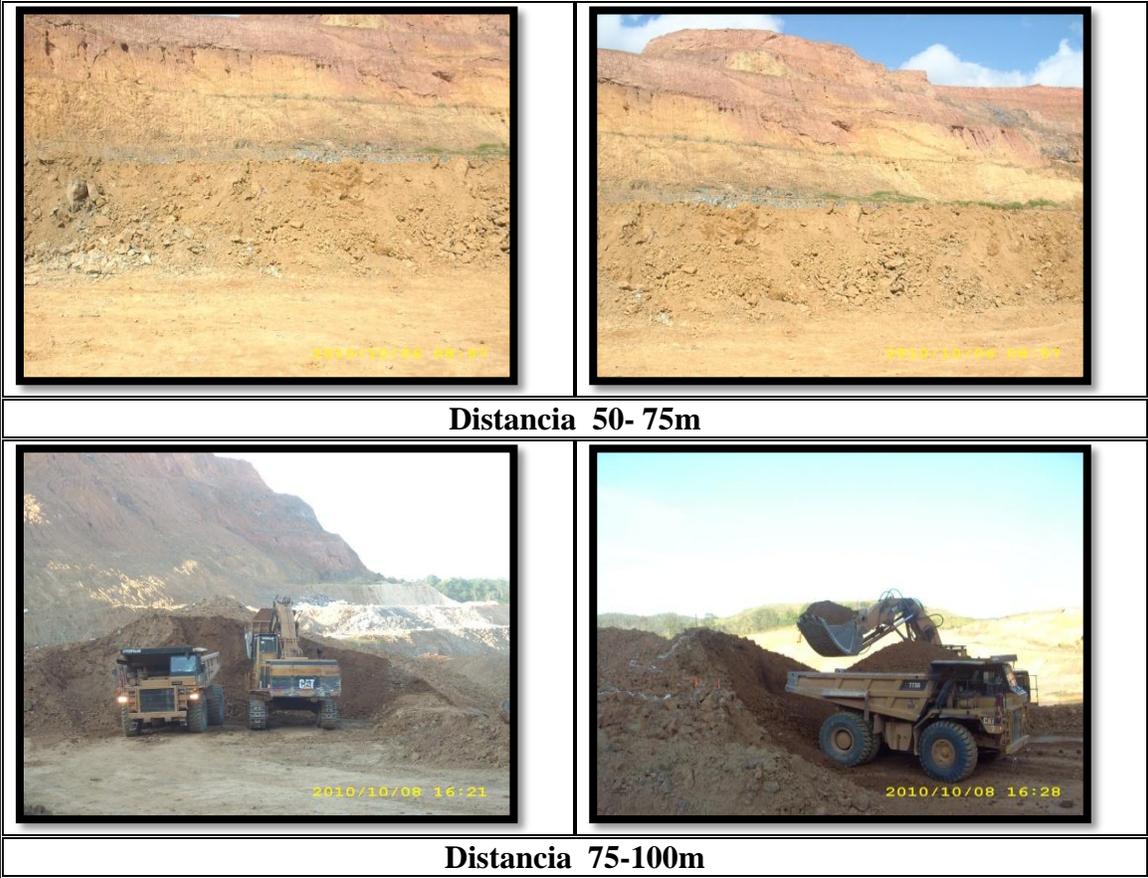
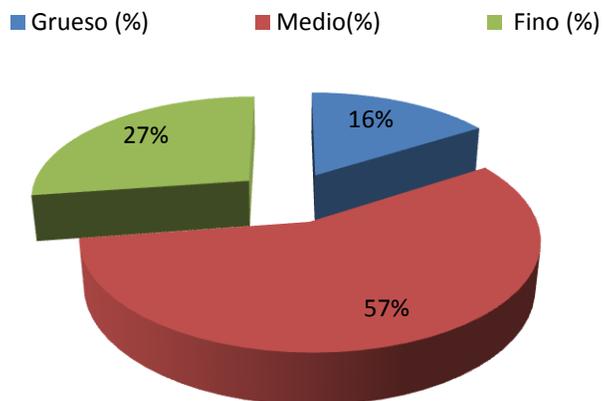


Figura N° 43 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22 (Fuente Propia)

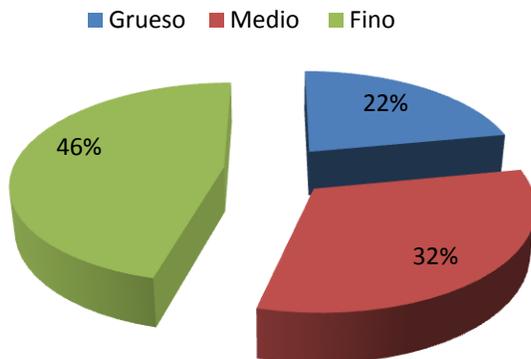
En los siguientes gráficos se muestran las proporciones del tamaño de la fragmentación según las distancias y el avance del equipo de acarreo o:

**Grafico N° 12 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**



**Distancia 50- 75m**

**Grafico N° 13 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**



**Distancia 75-100m**

### **5.2.5 Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 22 Día #3**

**Fecha** 11/10/10

**Turno** 7 a 3

**Descripción Operativa:**

- No había operaciones dentro del frente, cuando estaba realizando la evaluación.
- Se observó que durante el fin de semana hubo acarreo del material.
- Hubo un avance de 75m.

**Presencia de Desniveles en el Terreno:**

- No se observaron presencia de desniveles dentro de este avance.

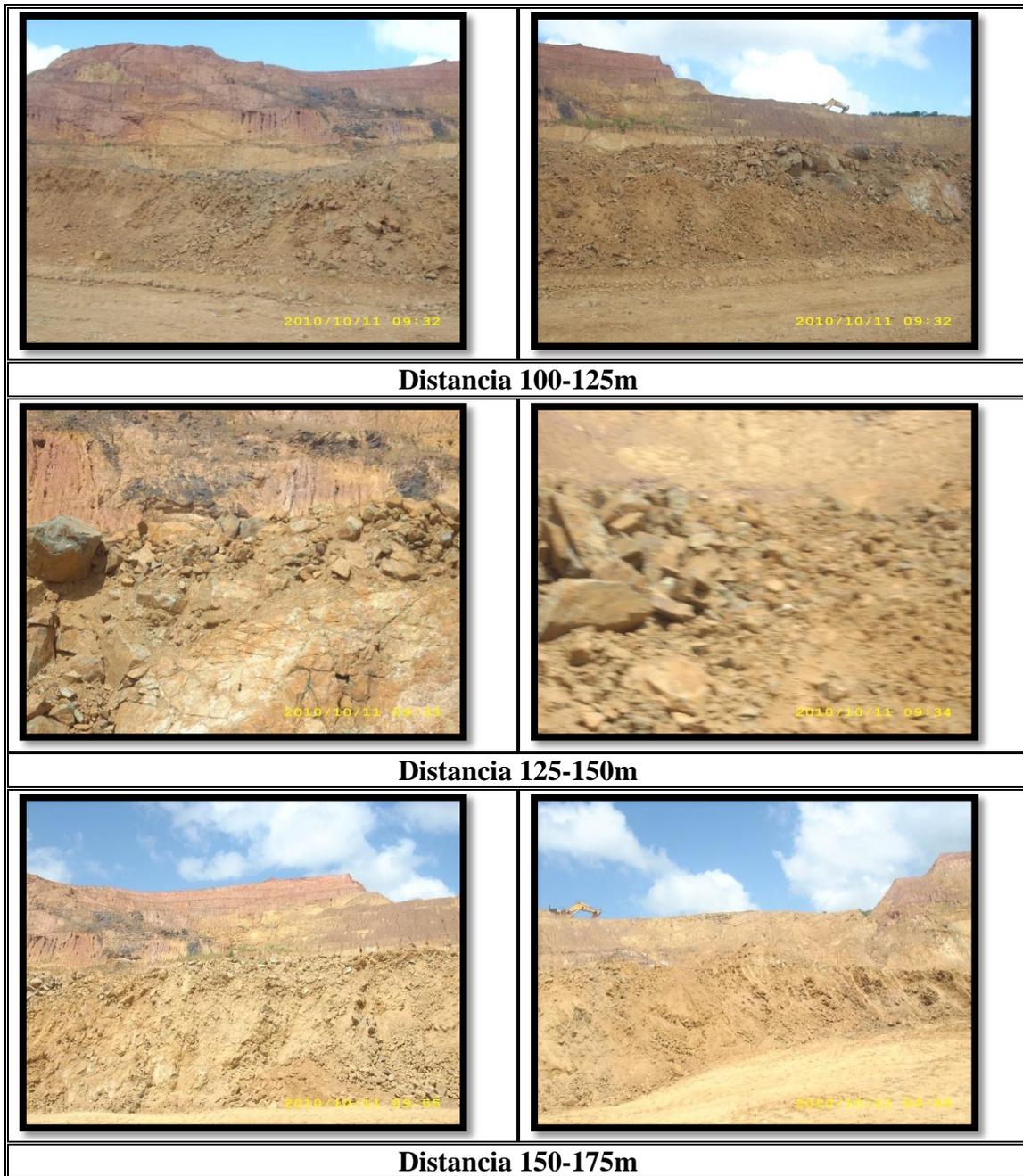
**Dureza del Material:**

- Debido a que no fue posible la evaluación durante la operación del acarreo, no es posible calificar si hubo un cambio de dureza, pero debido a las pared de talud dejadas luego de la operación, es notorio que hubo un cambio de litología, por tanto hubo un cambio en la dureza del material en el intervalo de 100 a 125 metros.

**Calidad de la Fragmentación:**

- La calidad de la fragmentación a lo largo del avance se pudo observar que hubo variaciones considerables en cada uno de los tramos pero es visible que el tamaño de la fragmentación correspondiente a los gruesos estuvo por encima de un 18%.

De acuerdo a lo anterior se la expone evaluación de fragmentación de la pila post Voladura N°22 según las distancias y el avance del equipo de acarreo:

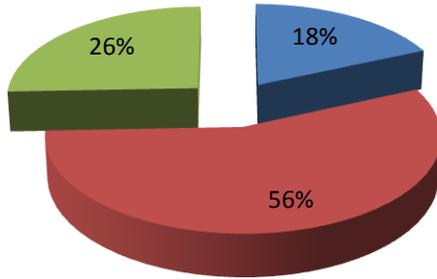


**Figura N° 44** Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22(Fuente Propia)

En los siguientes gráficos se muestran las proporciones del tamaño de la fragmentación según las distancias y el avance del equipo de acarreo:

**Grafico N° 14 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**

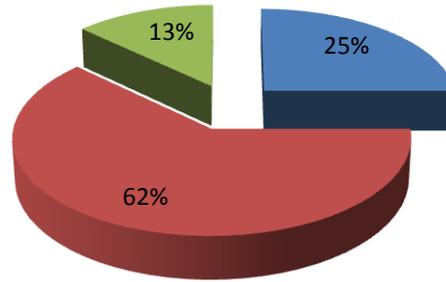
■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)



**Distancia 100-125m**

**Grafico N° 15 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**

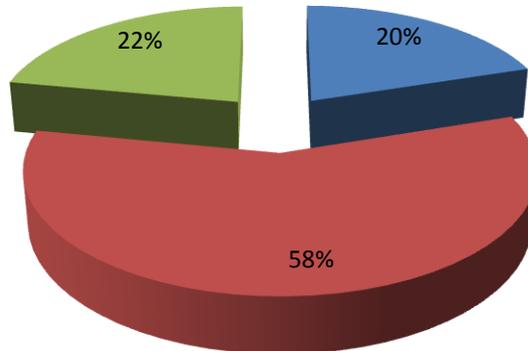
■ Grueso ■ Medio ■ Fino



**Distancia 125-150m**

**Grafico N° 16 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**

■ Grueso ■ Medio ■ Fino



**Distancia 150-175m**

## 5.2.6 Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 22 Día #4

**Fecha** 12/10/10

**Turno** 7 a 3

### **Descripción Operativa:**

- Las operaciones se iniciaron a las 7:30 am dentro de frente, al igual que primer día de seguimiento se acarreo con una retroexcavadora Komatsu PC250 con 3 camiones 773D Caterpillar
- Hubo un avance de 25 metros.

### **Presencia de Desniveles en el Terreno:**

- No se observaron presencia de desniveles dentro de este avance.

### **Dureza del Material:**

- Se observó durante el avances la dureza de material se mantuvo uniforme.

### **Calidad de la Fragmentación:**

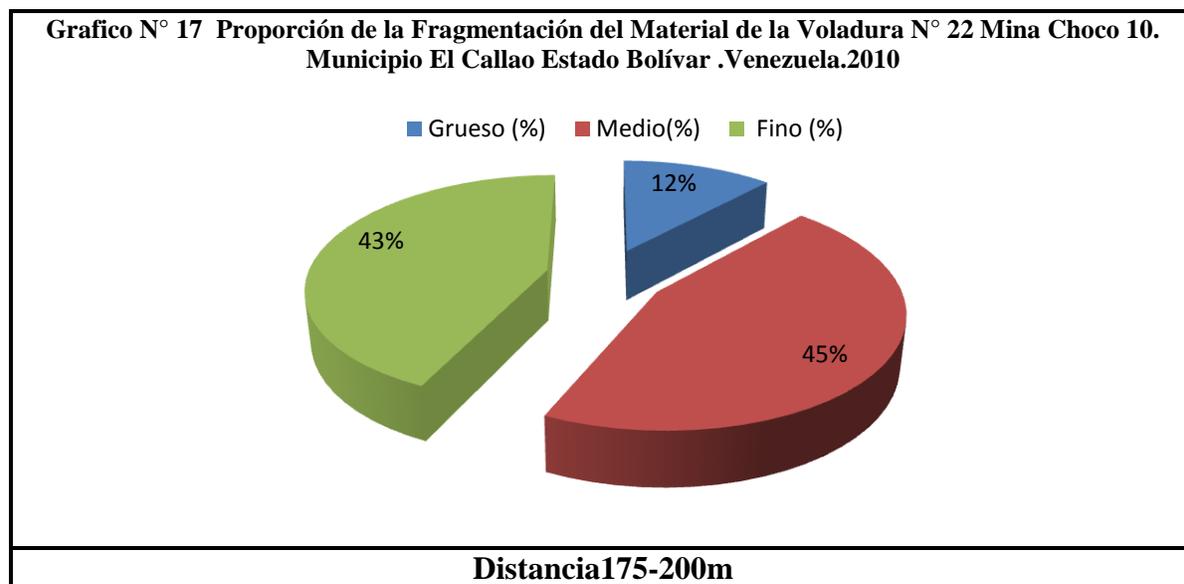
- La calidad de fragmentación mantuvo una misma proporción en los tamaños de fragmento de medio a fino con 45% y 43% respectivamente, mientras que el tamaño de grueso tuvo 12%.
- En este último tramo se pudo observar que en la parte final se hallaban bloques que fueron empujado por la voladura mas no fragmentado por esta.

De acuerdo a lo anterior se expone la evaluación de fragmentación de la pila post Voladura N°22 según las distancias y el avance del equipo de acarreo:

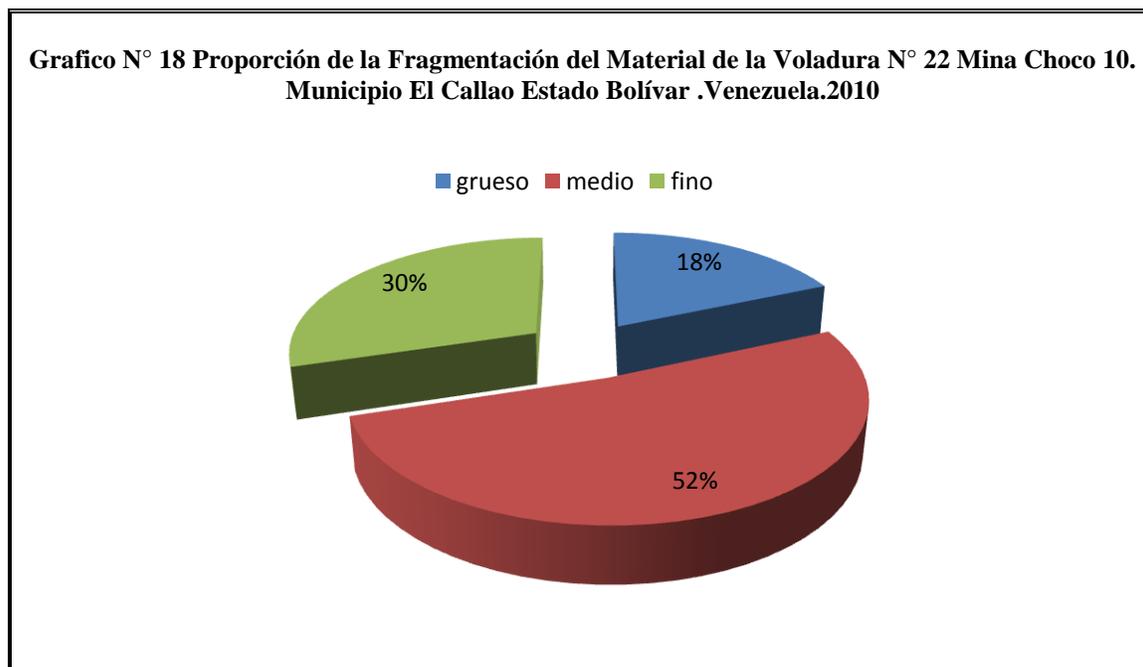


**Figura N° 45 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 22 (Fuente Propia)**

En el siguiente gráfico se muestran las proporciones del tamaño de la fragmentación según la distancia y el avance del equipo de acarreo:



De acuerdo a la evaluación de la fragmentación de acuerdo al avance de las operaciones de carga y acarreo dentro de la pila de voladura se considera que la calidad de la fragmentación del disparo fue la siguiente:



VOLADURA N° 28

### DATOS GENERALES

LUGAR Pisolita  
NIVEL 212,5

FECHA 14/10/2010

### DATOS DE DISEÑO

ESPACIAMIENTO 4,5 m  
RETIRO 5 m

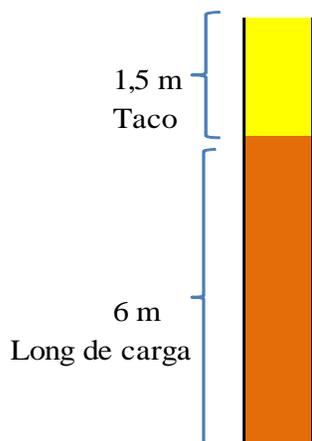
ESQUEMA Isósceles  
DIAMETRO DE BARRE 6 <sup>1/2</sup> pulg

ALTURA PROMEDIO DE PERFORACION 7,5 m  
SOBREPERFORACION 1 m  
NUMERO DE BARRENOS A PERFORAR 143

### DATOS DE CARGUIO DE EXPLOSIVO

TIPO DE EXPLOSIVO

MEZCLA EXPLOSIVA



ANFO

EMULSION

DENSIDAD DE LA MEZCLA 1,19

FACTOR CARGA 0,84 Kg\_Expl/Mt3\_Material



Figura N° 46 Ubicación, Diseño de perforación y encendido de la voladura N°28(Fuente P.M.G)

### 5.2.7 Evaluación Post voladura N°28

**Fecha:** 15/10/10

**Turno:** 7 a 3

**Descripción operativa:**

- La detonación de la voladura se llevó a cabo a las 12:00pm.
- Los equipos se trasladaron fuera del frente de voladura, a una distancia promedio de 250 metros, y deteniéndose las operaciones de producción a las 11:15am.
- No se presentó ningún problema operativo durante la ejecución de la voladura
- De acuerdo a procedimiento de seguridad se colocaron seis vigía quedando el área cerrada desde 11:45am
- Se observó que se produjo proyecciones de rocas hasta una distancia promedio de 180 metros, sin que hubieran riesgo a la maquinaria ni al personal encargado de la voladura.

**Desplazamiento de Material:**

- La secuencia de encendido se originó en la parte central del disparo simulando una secuencia de a salida en v.
- El movimiento del material se produjo hacia la parte central tal como se esperaba, observando un esponjamiento de 3 metros respecto del nivel de piso del banco volado. Debido a que en esta voladura existían un sub-banco de 3 metros de alturas, el material de este sub-banco se desplazó hacia la cara libre, notándose un movimiento del material bastante fuertes en este sector específico, generándose bloques en esta zona donde se encontraban el sub-banco.
- La técnica que se uso fue la de encerrar el disparo para evitar que el material se extendieran en dirección de la cara libre.

## 5.2.8 Evaluación de Fragmentación de la Pila Post Voladura N°28

**Fecha 15/10/2010**

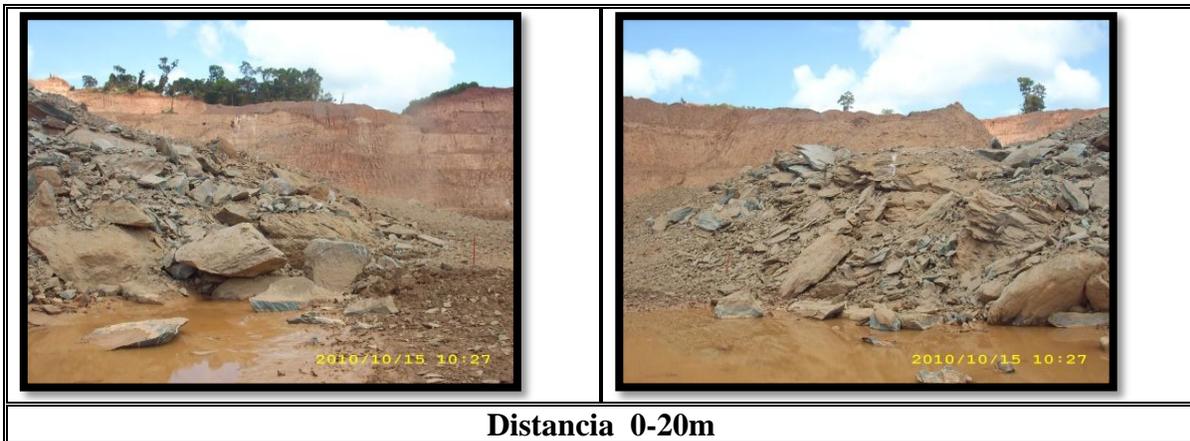
**Turno 7 a 3**

### **Calidad de la Fragmentación:**

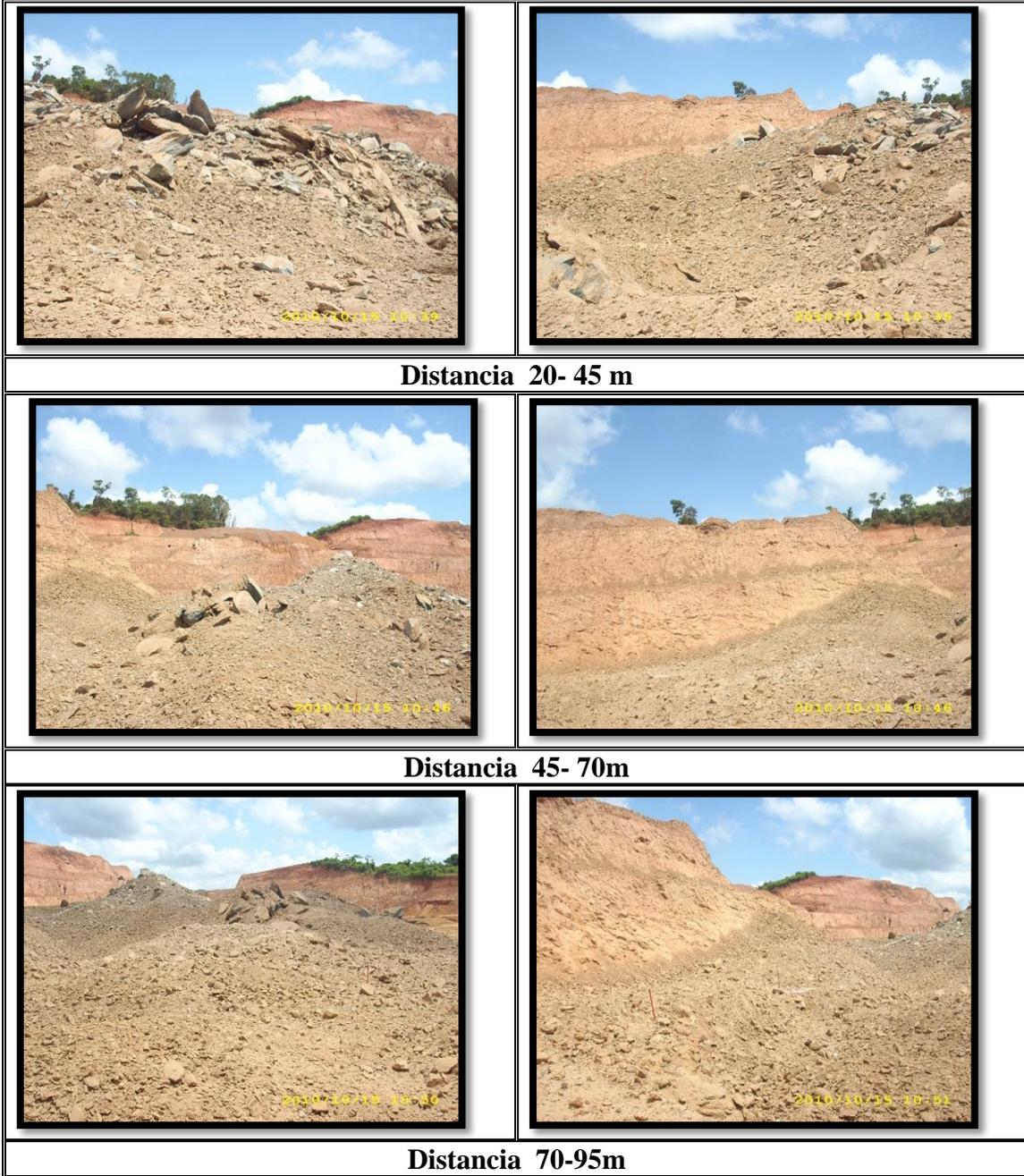
- A lo largo de la pila formada por la voladura, se puede apreciar que la calidad de la fragmentación, se fue mejorando. En el análisis de los tramos a cada 25m en la zona lateral sur oeste se aprecia nítidamente este fenómeno alcanzando su pico al final de la pila donde se aprecia una fragmentación gruesa en el orden de 10%, más sin embargo es notable la gran cantidad de bloques en la primera parte de la pila.
- Es notorio que debido a factores operacionales como la existía del sub-banco, y el hecho de que no se logró realizar la perforación completa del área debido a las condiciones existente en campo, afecto la calidad de fragmentación del material de manera general.
- Al revisar el material grueso se puede observar que este no presenta cara fresca producto del proceso de la voladura sino cara antigua que indica que el material fue empujado más no fragmentado.

De acuerdo a lo anterior se expone la evaluación de fragmentación de la pila post Voladura N°28, una primera parte muestra lados sur-oeste de la pila, luego lado norte-sur, buscando apreciar la pila de voladura lo mejor posible, según las distancias:

### **Lado sur-oeste**

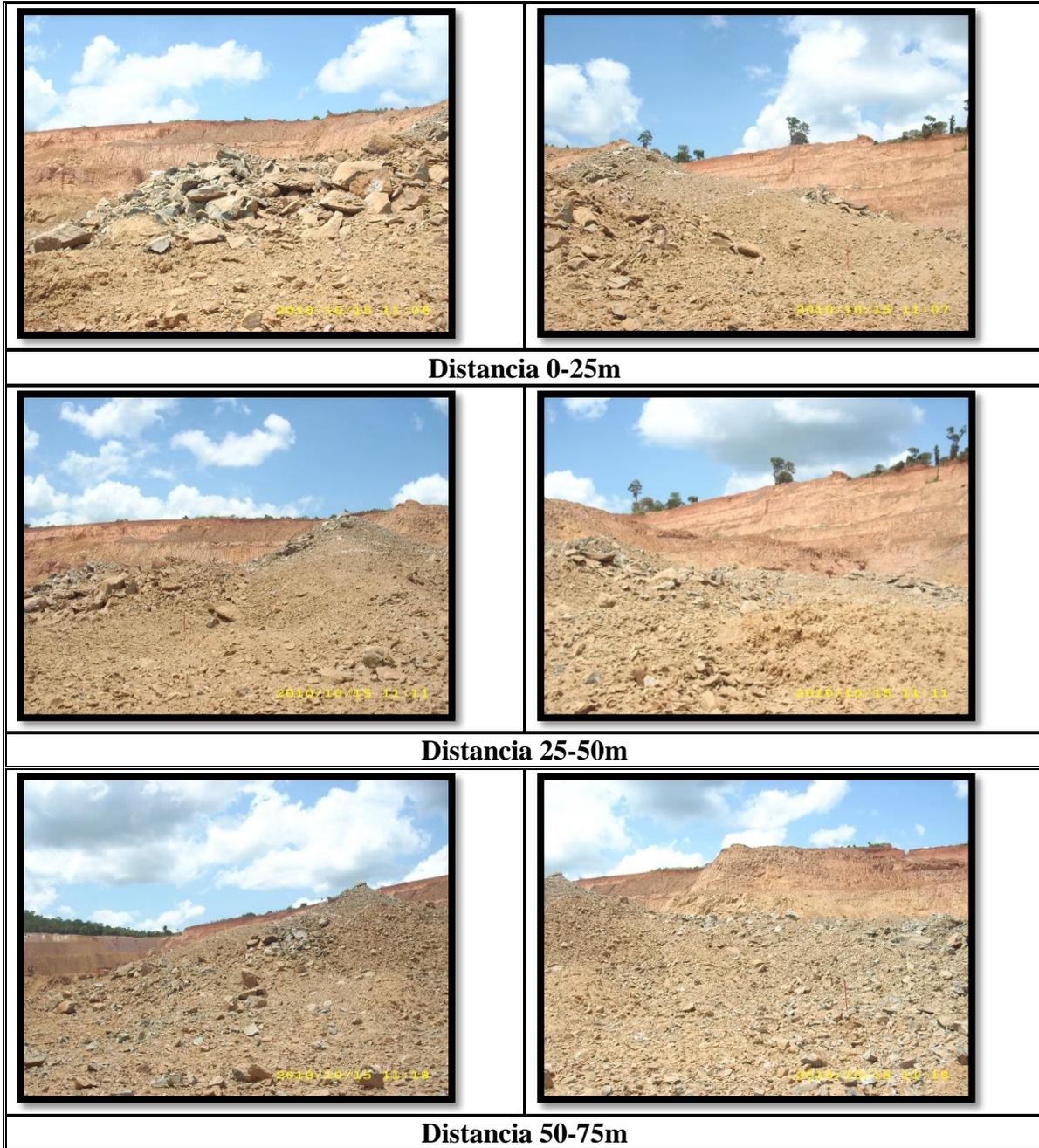


**Figura N° 47 Secuencia de Evaluación por Tramo (Fuente Propia)**

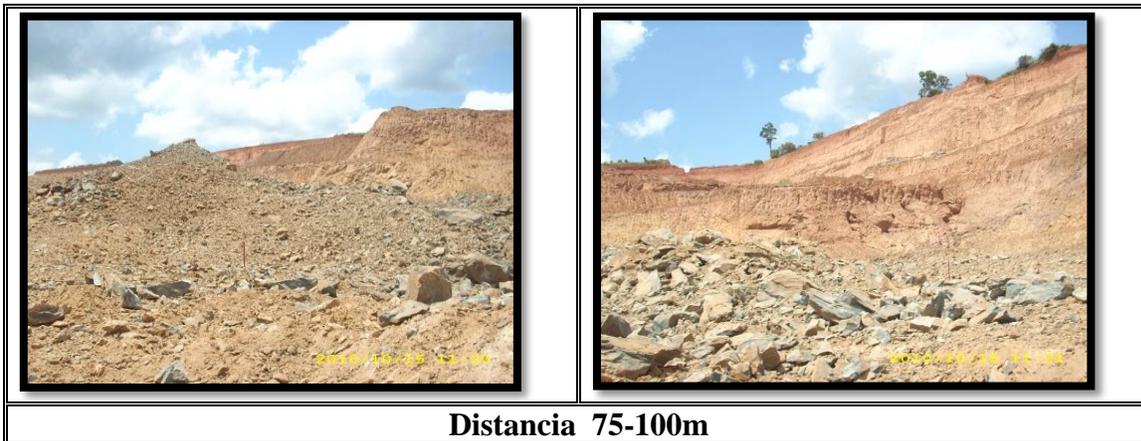


**Figura N° 48 Secuencia de Evaluación por Tramo (Fuente Propia)**

**Lado Norte – Sur**



**Figura N° 49 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 28 (Fuente Propia)**

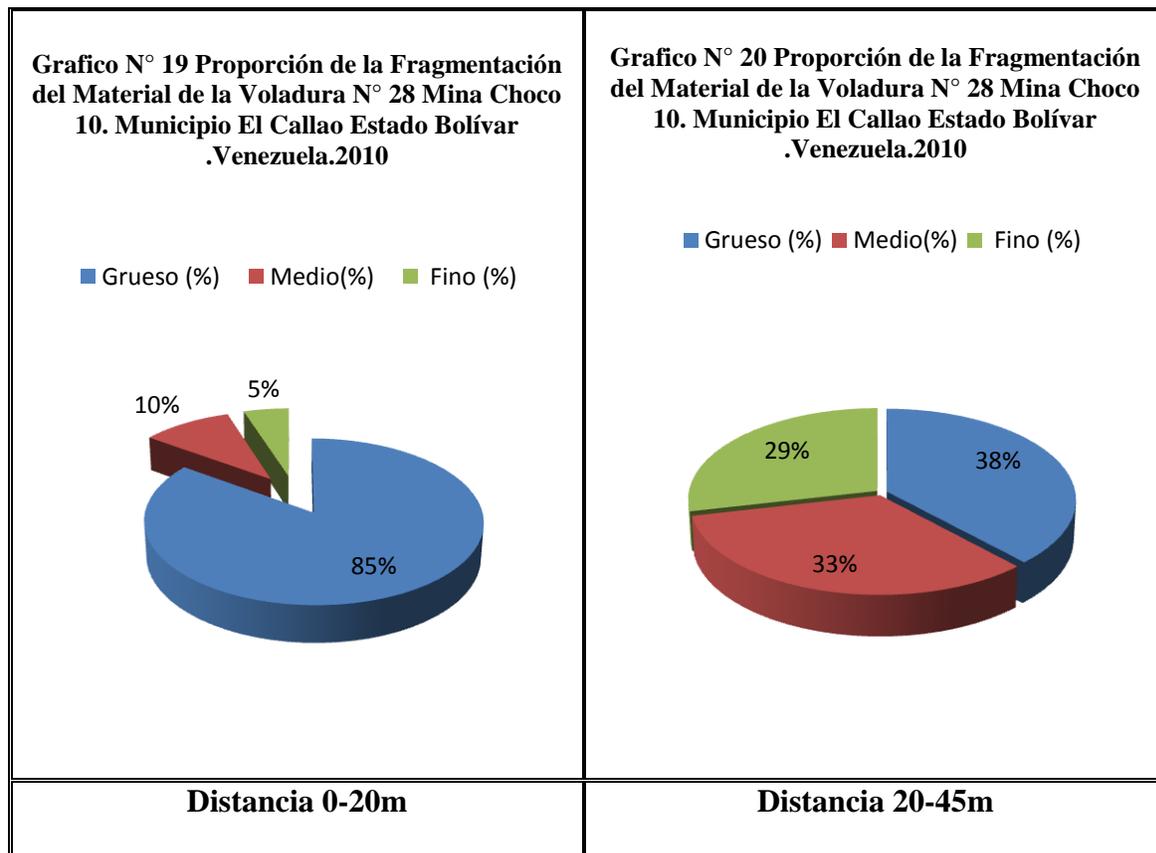


**Distancia 75-100m**

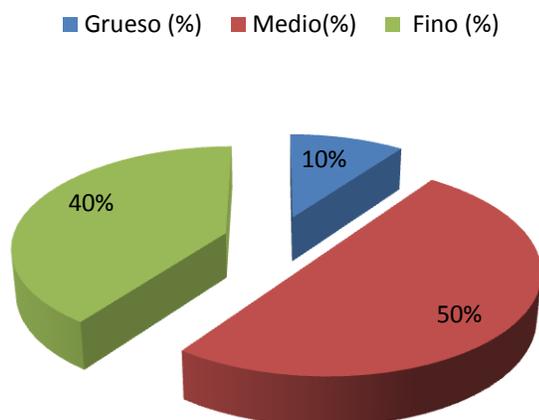
**Figura N° 50 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 28 (Fuente Propia)**

En los siguientes gráficos se muestran las proporciones del tamaño de la fragmentación según las distancias evaluado para cada uno de los lados:

**Lado Sur- Oeste**

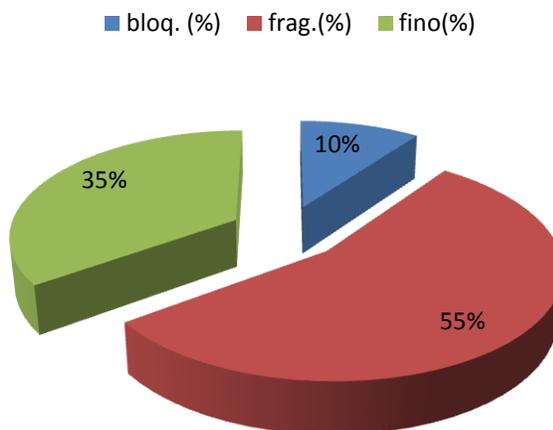


**Grafico N° 21 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**



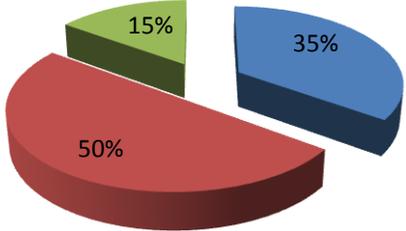
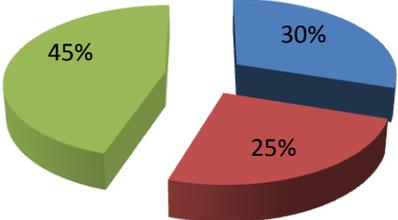
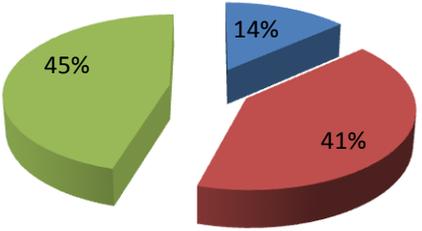
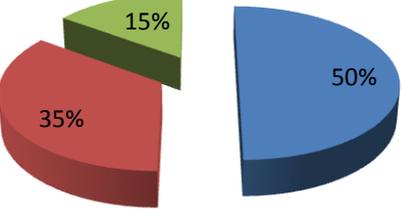
**Distancia 45-70m**

**Grafico N° 22 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**



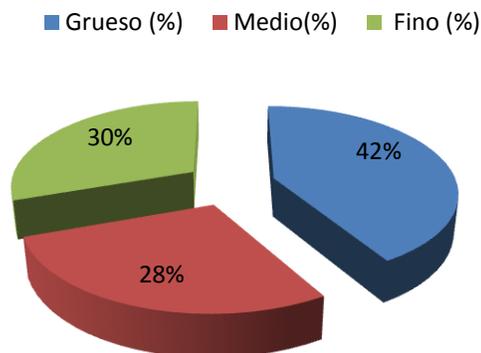
**Distancia 70-95m**

**Lado Norte - Sur**

<p><b>Grafico N° 23 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010</b></p> <p>■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grueso (%)</td> <td>35%</td> </tr> <tr> <td>Medio(%)</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>Fino (%)</td> <td>15%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Grueso (%)	35%	Medio(%)	50%	Fino (%)	15%	<p><b>Grafico N° 24 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010</b></p> <p>■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grueso (%)</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td>Medio(%)</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Fino (%)</td> <td>45%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Grueso (%)	30%	Medio(%)	25%	Fino (%)	45%
Categoría	Porcentaje																
Grueso (%)	35%																
Medio(%)	50%																
Fino (%)	15%																
Categoría	Porcentaje																
Grueso (%)	30%																
Medio(%)	25%																
Fino (%)	45%																
<p><b>Distancia 0-25m</b></p>	<p><b>Distancia 25-50m</b></p>																
<p><b>Grafico N° 25 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010</b></p> <p>■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grueso (%)</td> <td>14%</td> </tr> <tr> <td>Medio(%)</td> <td>41%</td> </tr> <tr> <td>Fino (%)</td> <td>45%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Grueso (%)	14%	Medio(%)	41%	Fino (%)	45%	<p><b>Grafico N° 26 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010</b></p> <p>■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grueso (%)</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>Medio(%)</td> <td>35%</td> </tr> <tr> <td>Fino (%)</td> <td>15%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Grueso (%)	50%	Medio(%)	35%	Fino (%)	15%
Categoría	Porcentaje																
Grueso (%)	14%																
Medio(%)	41%																
Fino (%)	45%																
Categoría	Porcentaje																
Grueso (%)	50%																
Medio(%)	35%																
Fino (%)	15%																
<p><b>Distancia 50-75m</b></p>	<p><b>Distancia 75-100m</b></p>																

De acuerdo a la evaluación realizada podemos considerar que la calidad de la fragmentación del disparo fue la siguiente

**Grafico N° 27 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**



### **5.2.9 Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 28 Día #1**

**Fecha** 18/11/10

**Turno** 7 a 3

#### **Descripción Operativa:**

- Se pudo observar que el material fue acarreado durante el fin de semana, por tanto no fue posible un seguimiento de la operación en el frente.
- Hubo un avance de unos 100metros medidos de lado norte-sur.

#### **Presencia de Desniveles en el Terreno:**

- Se observaron presencia de desnivel en piso dejado del frente

#### **Dureza del Material:**

- Se observó durante el avances la dureza de material se mantuvo uniforme ya que no era notable un cambio en la litología.

#### **Calidad de la Fragmentación:**

- De acuerdo al material que aún estaba en el frente es notable grandes bloques que no han sido acarreado en los primeros tramos de evaluación, y posteriormente se pudo observar un mejoramiento a una distancia entre 25 y 50 metros pero luego se continuo observar gran cantidad de bloques.

De acuerdo a lo anterior se expone la evaluación de fragmentación de la pila post Voladura N°28 según las distancias y el avance del equipo de acarreo:

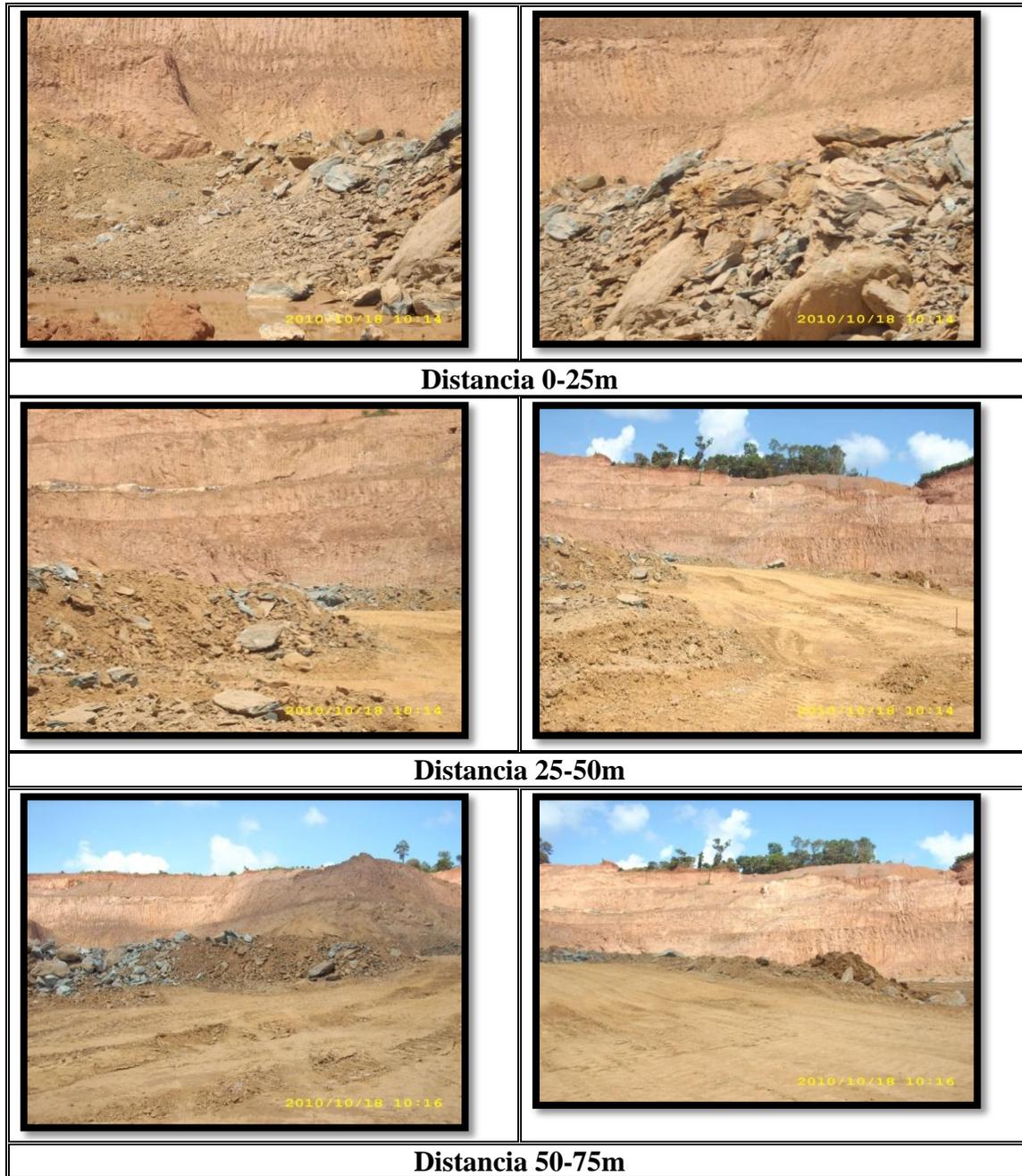


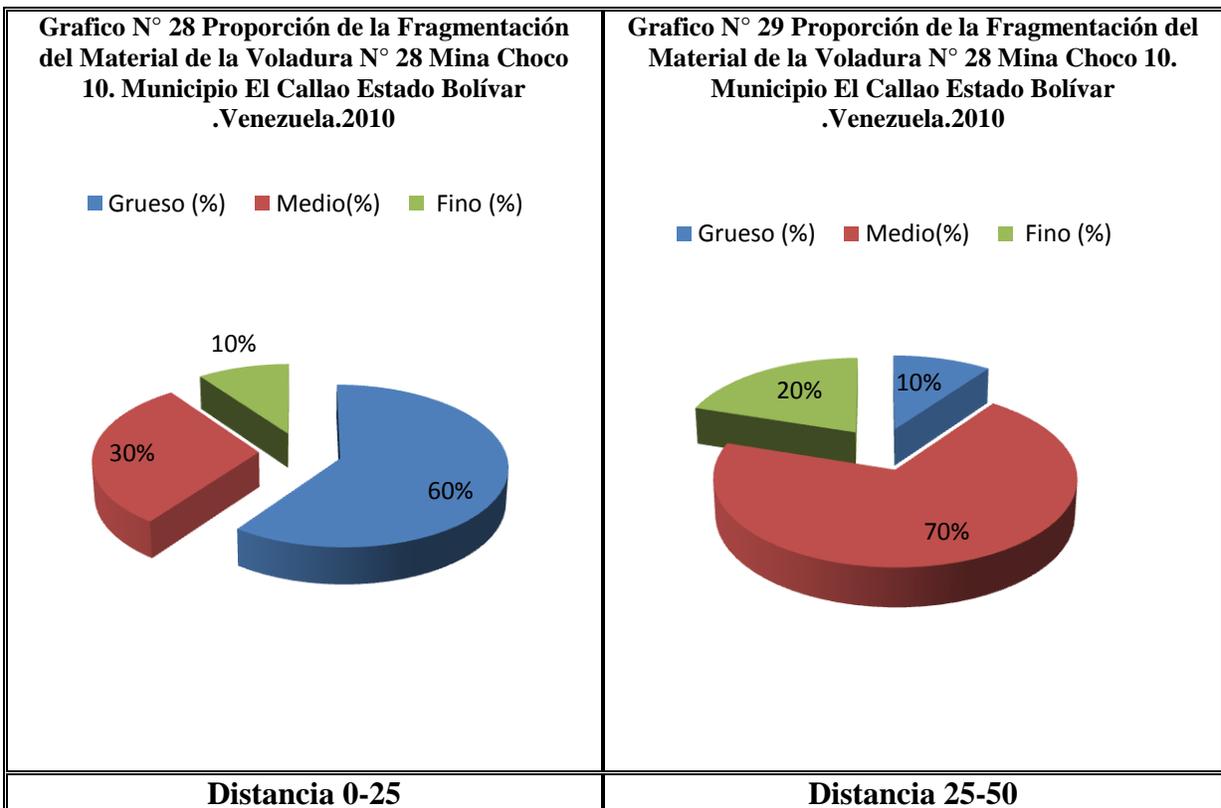
Figura N° 51 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 28 (Fuente Propia)

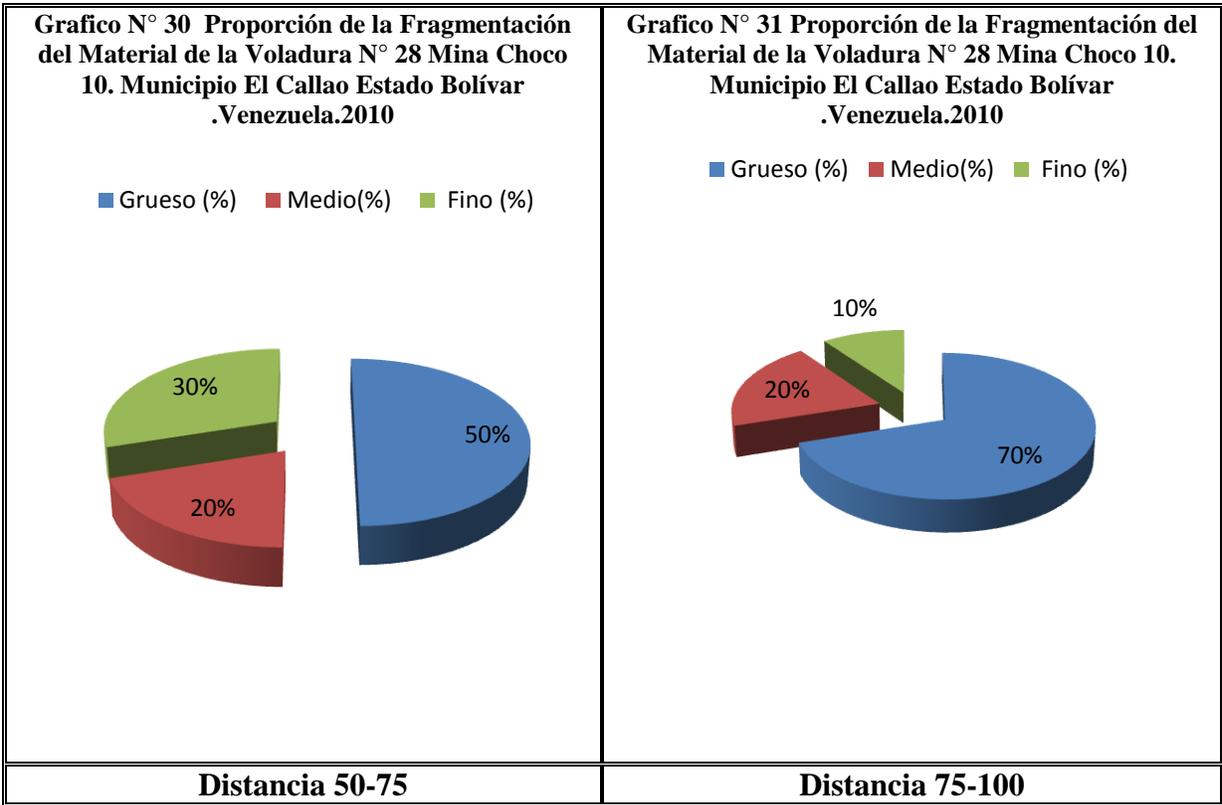


**Distancia 75-100m**

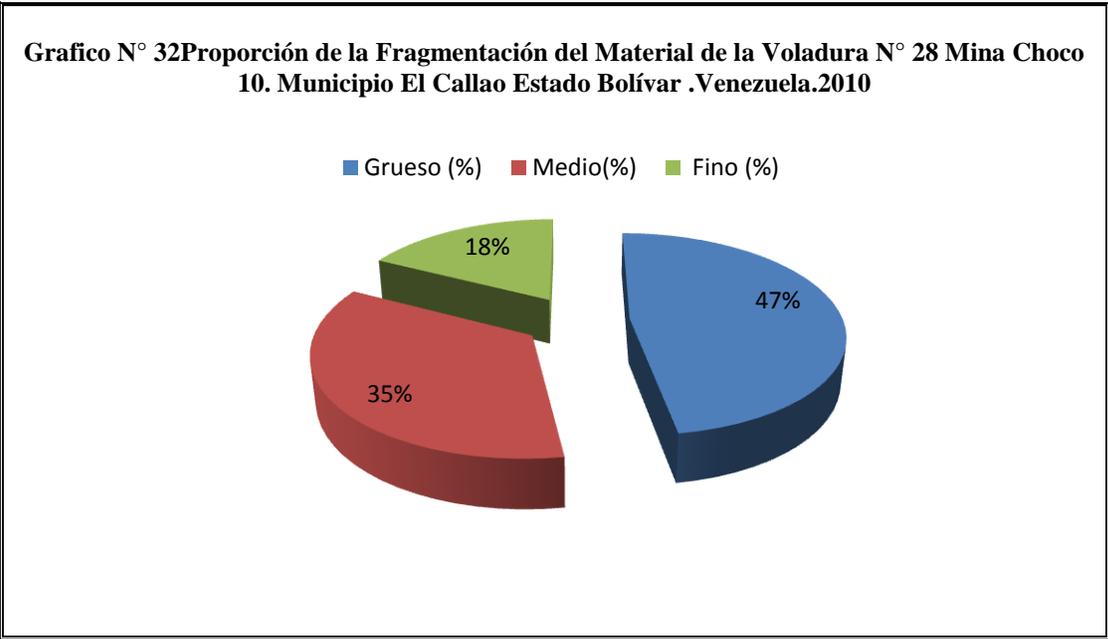
**Figura N° 52 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 29 (Fuente Propia)**

En los siguientes gráficos se muestran las proporciones del tamaño de la fragmentación según las distancias y el avance del equipo de acarreo:





De acuerdo a la evaluación realizada podemos considerar que la calidad de la fragmentación del disparo fue la siguiente:



VOLADURA N° 34

**DATOS GENERALES**

LUGAR Pisolita  
NIVEL 207

FECHA 04/11/2010

**DATOS DE DISEÑO**

ESPACIAMIENTO 4 m  
RETIRO 4 m

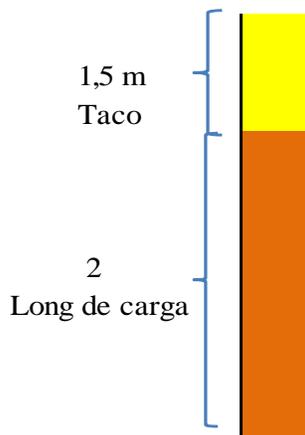
ESQUEMA Isósceles  
DIAMETRO DE BARRE 6 1/2 pulg

ALTURA PROMEDIO DE PERFORACION 3,5 m  
SOBREPERFORACION 1 m  
NUMERO DE BARRENOS A PERFORAR 163

**DATOS DE CARGUO DE EXPLOSIVO**

TIPO DE EXPLOSIVO

MEZCLA EXPLOSIVA



ANFO 30%  
EMULSION 70%  
DENSIDAD DE LA MEZCLA | 1,19

FACTOR CARGA 0,70 Kg\_Expl/Mt3\_Material

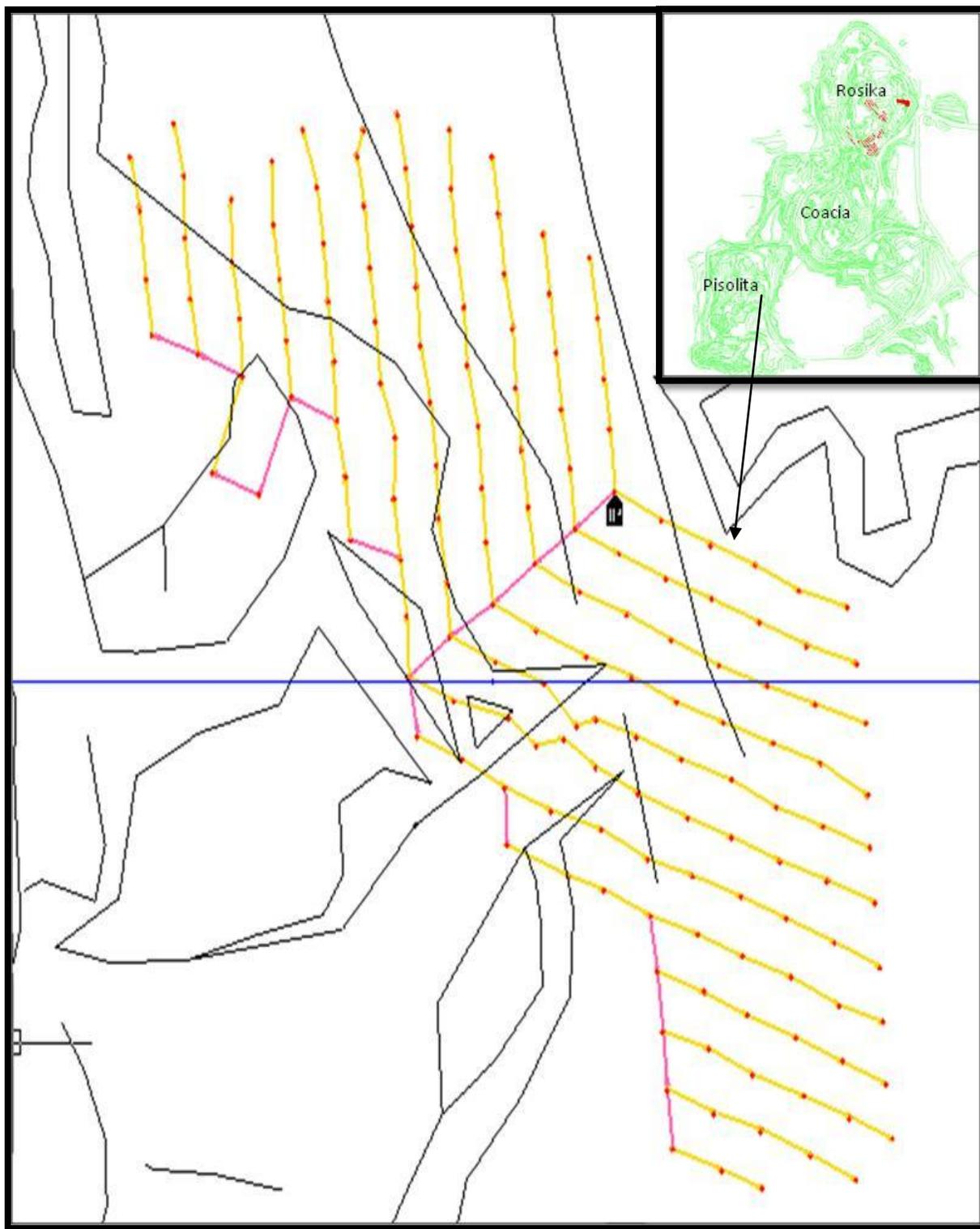


Figura N° 53 Ubicación, Diseño de perforación y encendido de la voladura N°34(Fuente P.M.G)

### 5.2.10 Evaluación Post Voladura N°34

Fecha: 04/11/10

Turno: 7 a 3

#### **Descripción operativa:**

- La detonación de la voladura se llevó a cabo a las 12:07pm.
- Los equipos se trasladaron fuera del frente de voladura, a una distancia promedio de 250 metros, y deteniéndose las operaciones de producción a las 11:30am.
- No se presentó ningún problema operativo durante la ejecución de la voladura
- De acuerdo a procedimiento de seguridad se colocaron seis vigía quedando el área cerrada desde 11:45am
- Se observó que se produjo proyecciones de rocas, sin que hubieran riesgo a la maquinaria ni al personal encargado de la voladura.

#### **Desplazamiento de Material:**

- La secuencia de encendido se originó en la parte central del disparo simulando una secuencia de a salida en v.
- El movimiento del material se produjo hacia la parte central tal como se esperaba, observando un esponjamiento de 3 metros respecto del nivel de piso del banco
- La técnica que se uso fue la de encerrar el disparo para evitar que el material se extendieran en dirección de la cara libre.

### 5.2.11 Evaluación de Fragmentación de la Pila Post Voladura N°34

**Fecha: 05/11/2010**

**Turno: 7 a 3**

#### **Calidad de la Fragmentación:**

- A lo largo de la pila formada por la voladura, se puede apreciar que la calidad de la fragmentación se mantuvo de manera casi uniforme hasta la distancia de 50 metros, y posteriormente se fue desmejorando. En los tramos a cada 25 a 75 metros se aprecia nítidamente este fenómeno de desmejoramiento alcanzando en este intervalo final una fragmentación gruesa en el orden de 30%.

De acuerdo a lo anterior se expone la evaluación de fragmentación de la pila post Voladura N°34 según las distancias:

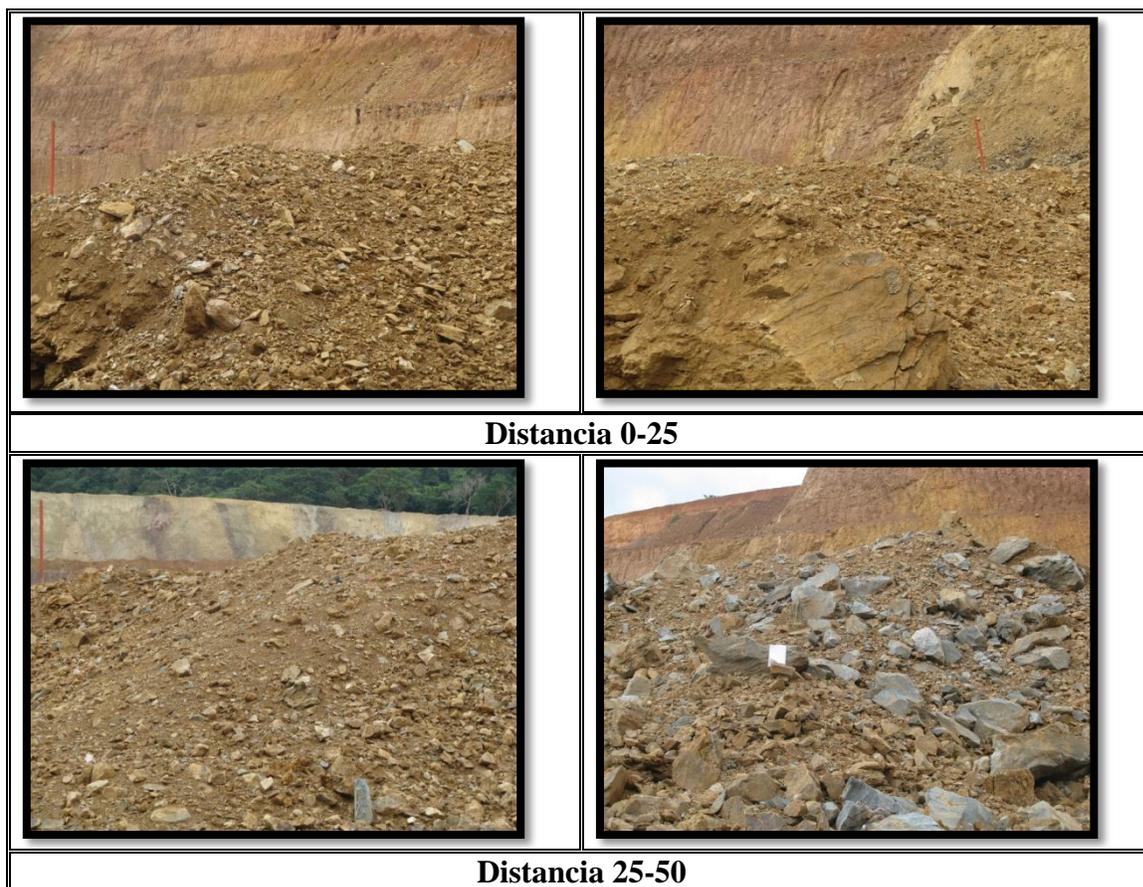
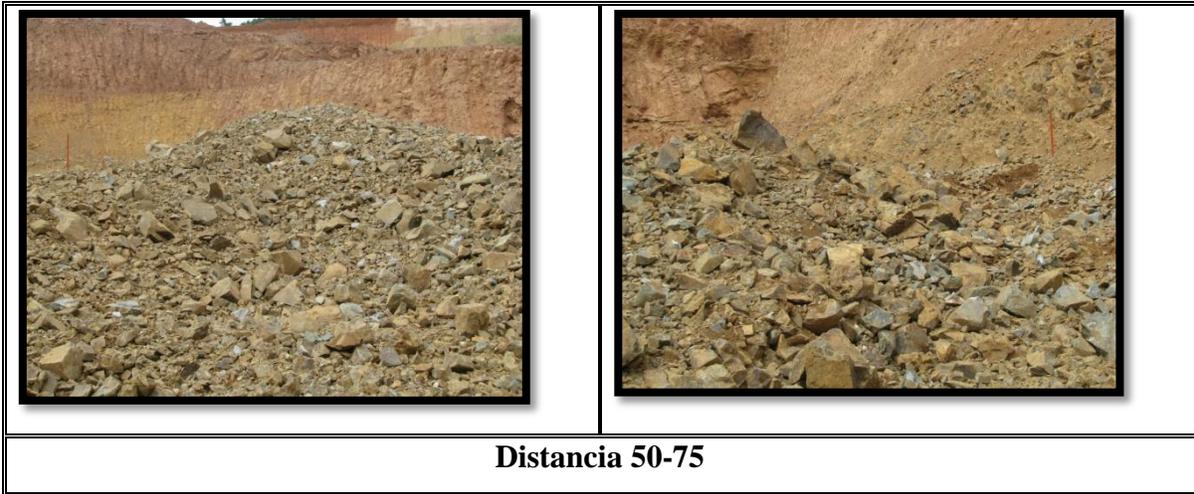


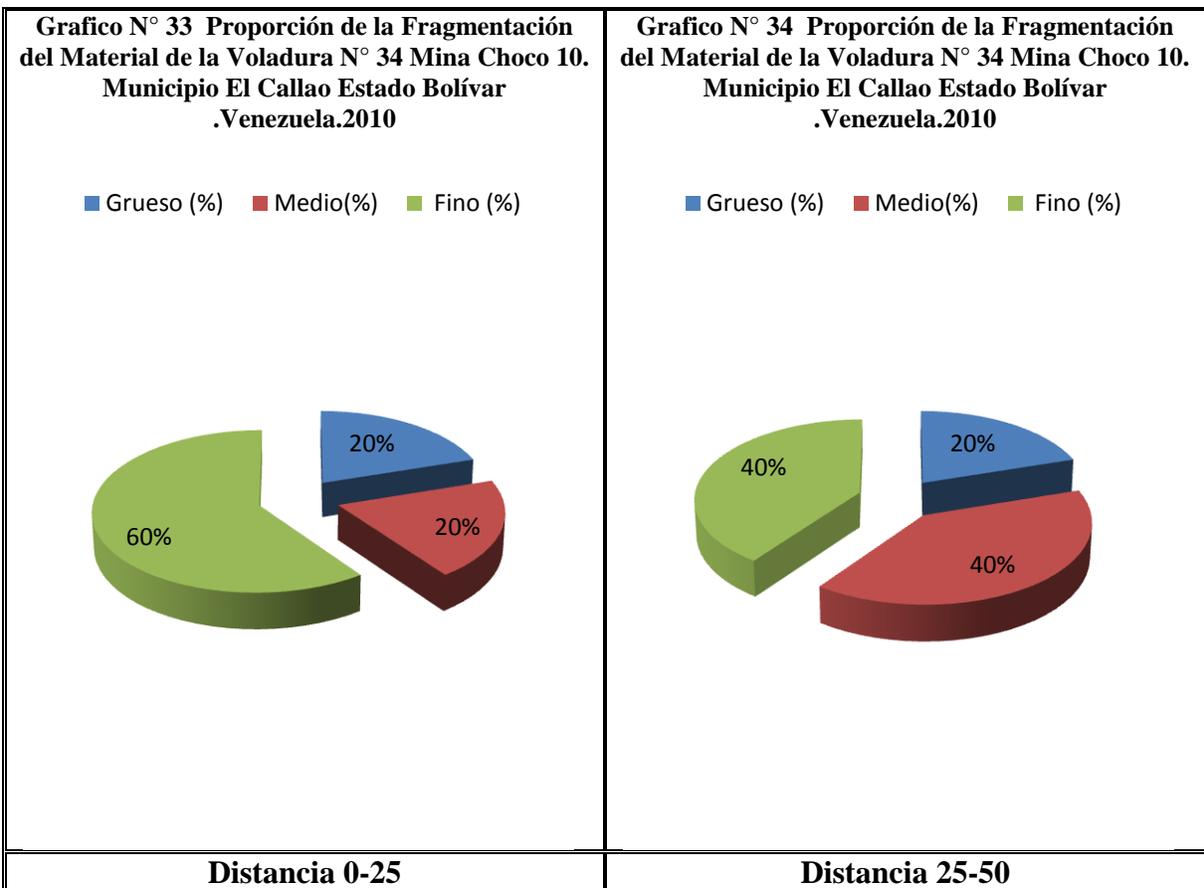
Figura N° 54 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 34 (Fuente Propia)



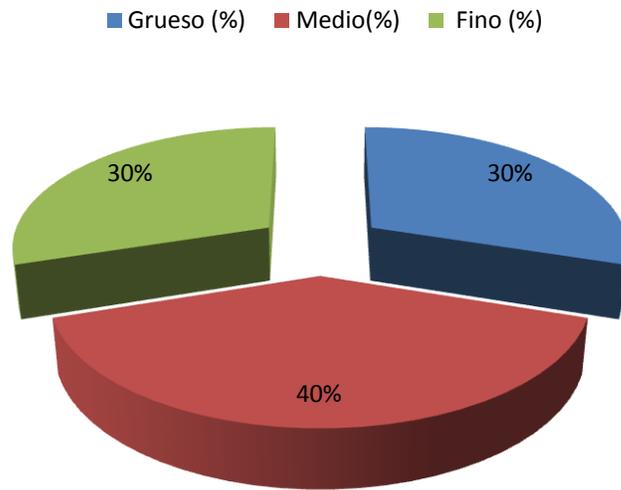
**Distancia 50-75**

**Figura N° 55 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N°34 (Fuente Propia)**

En los siguientes gráficos se muestran las proporciones del tamaño de la fragmentación según las distancias:



**Grafico N° 35 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**

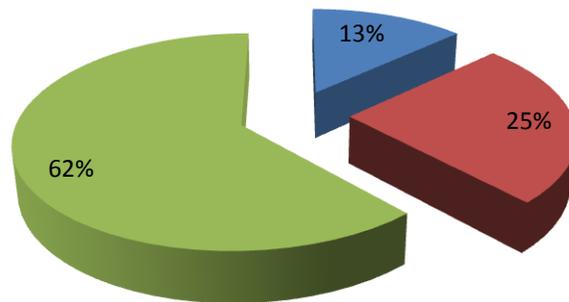


**Distancia 50-75**

De acuerdo a la evaluación realizada podemos considerar que la calidad de la fragmentación del disparo fue la siguiente:

**Grafico N° 36 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010 2011**

■ Grueso (%) ■ Medio(%) ■ Fino (%)



## 5.2.12 Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 34 Día #1

**Fecha** 08/11/10

**Turno** 7 a 3

### **Descripción Operativa:**

- Se pudo observar que el material fue acarreado durante el fin de semana, por tanto no fue posible un seguimiento de la operación en el frente.

### **Presencia de Desniveles en el Terreno:**

- No se observaron presencia de desniveles en el piso dejado del frente.

### **Dureza del Material:**

- Se observó durante el avances la dureza de material se mantuvo uniforme, ya que no era notable un cambio en la litología.

### **Calidad de la Fragmentación:**

- De acuerdo al material que aún estaba en el frente es notable la poca existencia bloques y por tanto la una gran presencia de fragmentos finos alcanzando en este tamaño un máximo de un 75%.

De acuerdo a lo anterior se expone evaluación de fragmentación de la pila post Voladura N°34 según las distancias y el avance del equipo de acarreo:



**Figura N° 56 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 34 (Fuente Propia)**



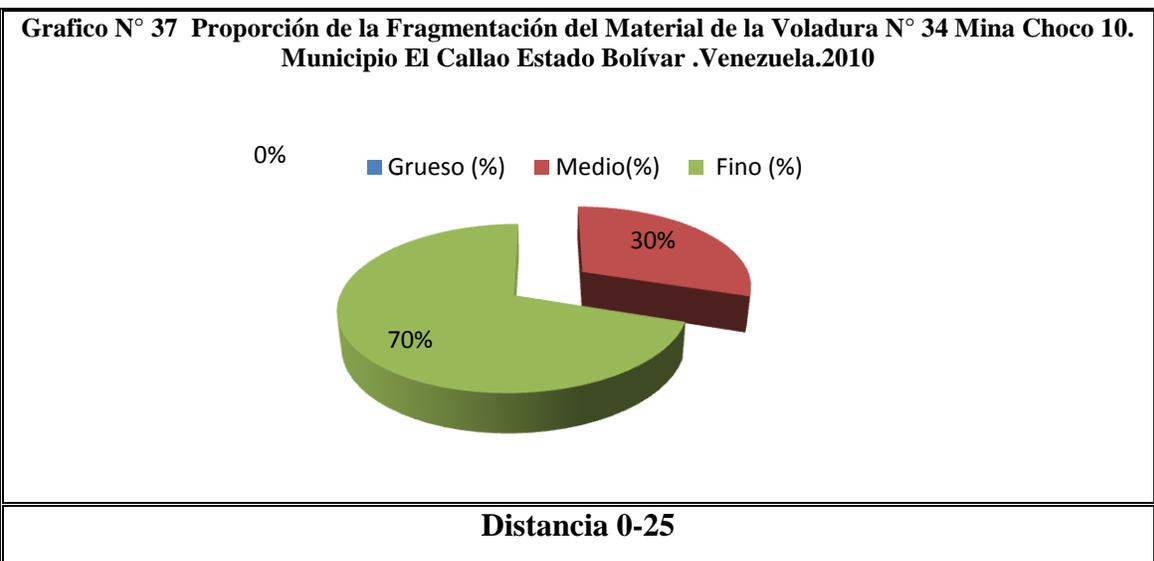
**Distancia 25-50**

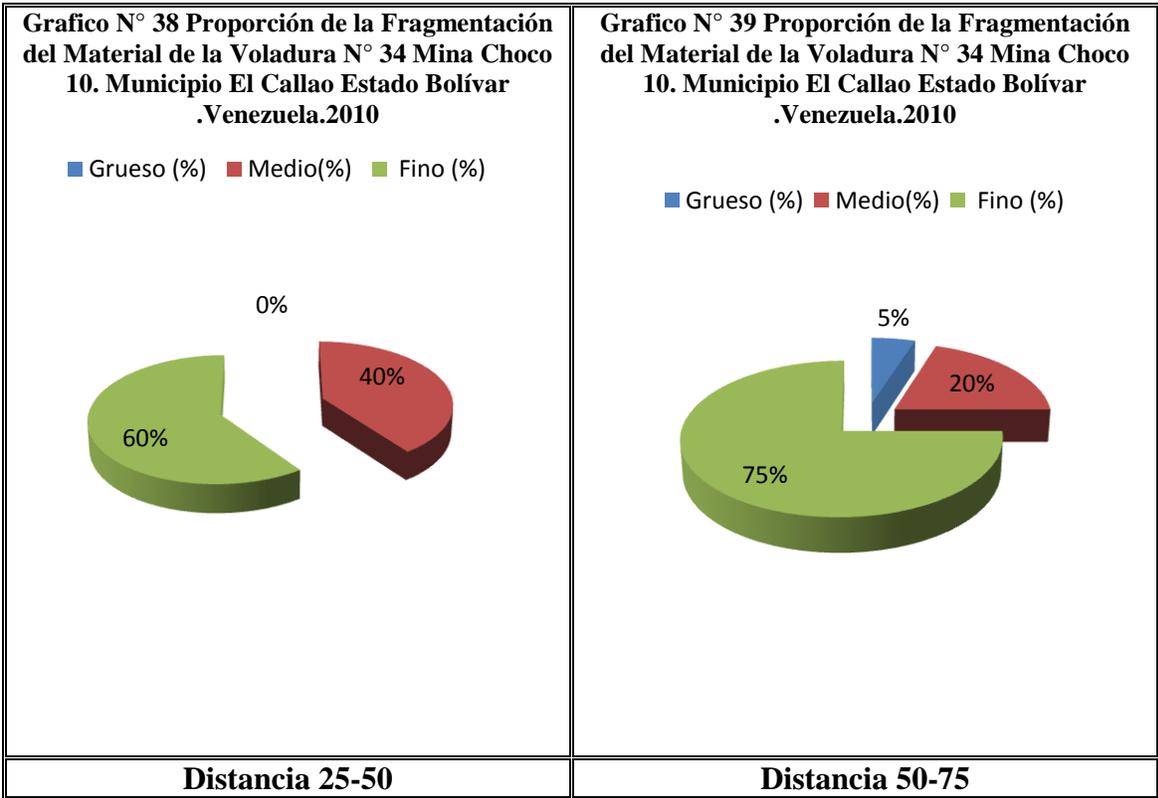


**Distancia 50-75**

**Figura N° 57 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 34 (Fuente Propia)**

En los siguientes gráficos se muestran las proporciones del tamaño de la fragmentación según las distancias y el avance del equipo de acarreo:





**5.2.13 Evaluación de la Fragmentación de Acuerdo al Avancen del Equipo de Acarreo en la Pila Post Voladura N° 34 Día #2**

**Fecha** 12/11/10

**Turno** 7 a 3.

**Descripción Operativa:**

- Las operaciones se iniciaron a las 10am dentro de frente por demoras por mantenimiento de la retroexcavadora Caterpillar, se realizó el acarreo con 4 camiones articulados.

**Presencia de Desniveles en el Terreno:**

- No se observaron presencia de chichones en piso dejado del frente

**Dureza del Material:**

- Se observó durante el avances la dureza de material se mantuvo uniforme ya que no era notable un cambio en la litología.

**Calidad de la Fragmentación:**

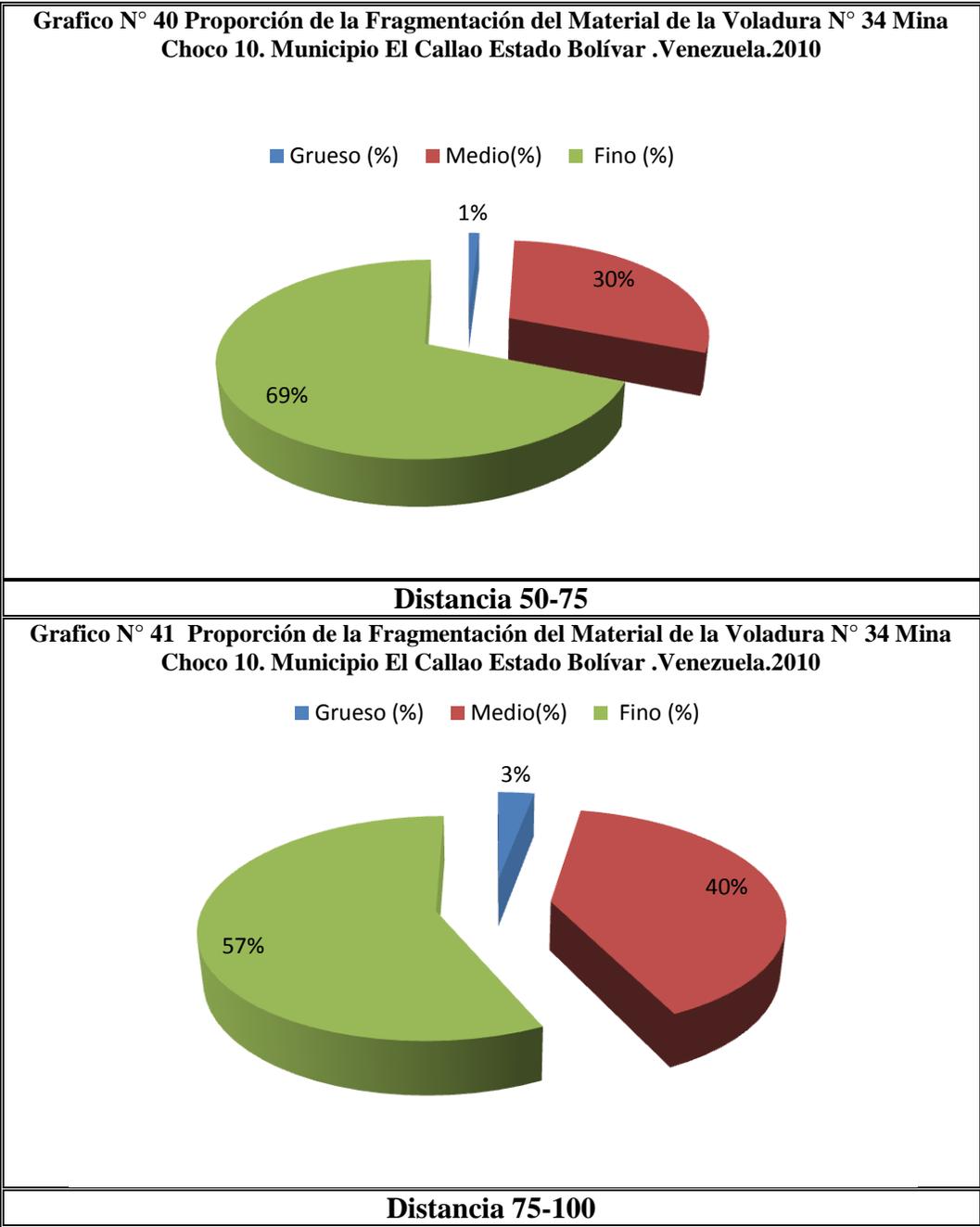
- La calidad de la fragmentación en este último tramo se noto una gran cantidad de material fino, reportándose un máximo de 69%, solo en este tamaño. En cuanto al porcentaje de los fragmentos considerados de bloque solo se tuvo un máximo de 5%, en los tramos evaluado.

De acuerdo a lo anterior se expone evaluación de fragmentación de la pila post Voladura N°34 según las distancias y el avance del equipo de acarreo:



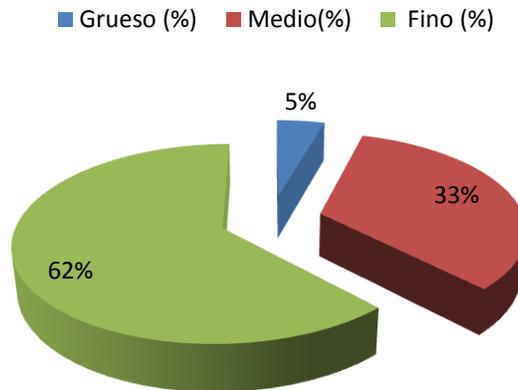
**Figura N° 58 Secuencia de Evaluación por Tramo Voladura N° 34 (Fuente Propia)**

En los siguientes gráficos se muestran las proporciones del tamaño de la fragmentación según las distancias y el avance del equipo de acarreo:



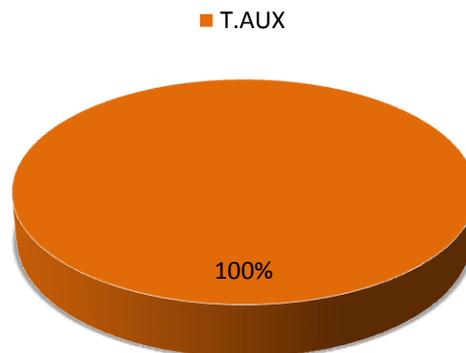
De acuerdo a la evaluación realizada podemos considerar que la calidad de la fragmentación del disparo fue la siguiente:

**Grafico N° 42 Proporción de la Fragmentación del Material de la Voladura N° 34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**

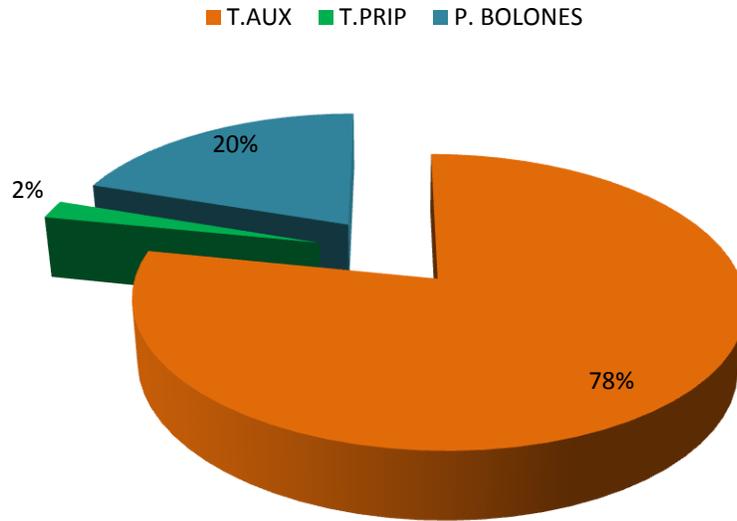


En cuanto a la información arrojadas por el SOSMINE (base de datos de las operaciones de la mina), el destino del mineral en cada unas de las voladuras se dio de la siguiente manera como en la siguiente graficas (ver graficas N°s 43,44 y 45). Esta información nos da una referencia más, de las calidades de la voladura efectuada en cuanto al mineral, ya que el mineral es transportado a estos destinos como la tolva principal, auxiliar y es 100% procesado en planta, entonces se tendría una manera general de evaluar la fragmentación de mineral.

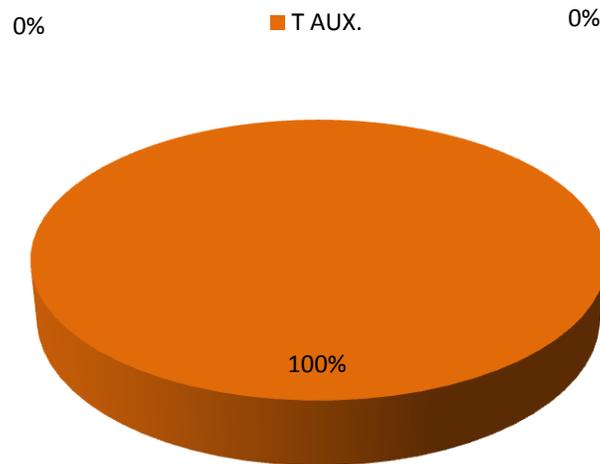
**Grafico N° 43Destino Final del Mineral de la Voladura N°22 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**



**Grafico N° 44 Destino Final del Mineral de la Voladura N°28 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**



**Grafico N° 45 Destino Final del Mineral de la Voladura N°34 Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.2010**



Con este resultado es notorio que la evaluación de la fragmentación comparada con esta presenta una diferencia importante, ya que la evaluación hecha de las voladuras está basada de acuerdo a las entradas tanto de la tolva principal como la auxiliar, por tanto debería haber una similitud, pero tomando en consideración lo siguiente es lógico estas diferencias. Primero la información suministrada por el SOSMINE solo corresponde al mineral, y lo segundo debido a que la voladura no solo genera una fragmentación sobre el macizo a volar sino que también genera pequeñas fracturas que a través de la acción que se lleva durante el acarreo generaría una mayor fragmentación que puede pasar por cada una de las entradas para el procesamiento del mineral.

En resumen y de acuerdo la evaluación realizada en la tabla N° 19 tenemos:

**Tabla N° 19 Resumen de las Evaluación de la Fragmentación**

VOLADURA	PATRON	ESQUEMA	FRAGMENTACION	PISO	EXPLOSIVO
22	5 x 5	Isósceles	Buena	Buena	Mezcla 70/30
28	4,5 x 5	Isósceles	Buena	Buena-Regular	Mezcla 70/30
34	4 x 4	Isósceles	Buena	Buena	Mezcla 70/30

### 5.3 DISEÑO DE PATRONES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

A continuación se desarrolló 3 conceptos, de manera teórico-práctico con la finalidad de poder dar el sustento apropiado a los diseños de los patrones que se plantearan:

1. Área de Influencia determinada por el Esquema de Perforación
2. Modelo de Predicción de la Fragmentación de Kuz Ram
3. Evaluación de Costos

#### 5.3.1 Área de influencia

Este es un concepto que está basado en la obtención del mejor rendimiento del explosivo en función a la Geometría del Diseño, existen diferentes geometrías que se pueden emplear pero la más recomendada es la geometría de forma regular. Es aquí donde

la combinación de esta con el área de menor influencia permite hacer la elección más adecuada de diseño a usar.

Teóricamente se sabe que el patrón que ofrece la menor área de menor influencia es el patrón triangular equilátero más conocido como “tres bolillo”.

Actualmente PMG viene usando geometrías de Triangulo Isósceles, razón por la cual compararemos este patrón con el mencionado para ver las diferencias que se presentan y la conveniencia de una posible modificación del mismo.

El procedimiento que se siguió se muestra a continuación:

- En primer lugar se tiene que generar una malla equivalente al diseño de triangulo isósceles teniendo como datos conocidos el espaciamiento y el retiro elegido para este diseño.

Comparando las áreas de acuerdo con las ecuaciones N°s 15 y 16 obtenemos:

$$E_i \bullet B_i = E_e \bullet E_e \text{sen}(60^\circ)$$

**Ecuación N° 15**

$$E_e = \sqrt{E_i \bullet B_i / \text{sen}(60^\circ)}$$

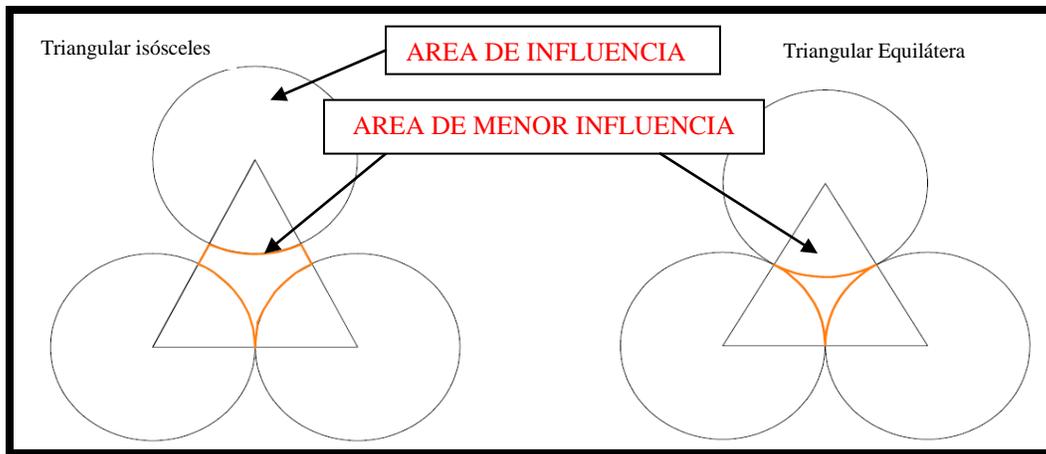
**Ecuación N° 16**

Donde;

$E_i$ ,  $B_i$  espaciamiento y retiro diseño isósceles; unidades en metros

$E_e$  espaciamiento diseño equilátero; unidades en metros

- El área de influencia se definirá por un círculo de radio igual a la mitad del espaciamiento que se trazara desde cada vértice del triángulo que representa un barreno.



**Figura N° 59 Área de influencia de los barrenos (Fuente Propia)**

- El área de menor influencia es el área libre que se genera entre las circunferencias y el triángulo, identificada en el gráfico anterior y que tiene por valor;

Área de Menor Influencia para un Diseño Triangular será muestra la ecuación N°17

$$AREA = E \cdot B - \Pi \cdot \frac{E^2}{2}$$

**Ecuación N° 17**

Donde;

E, B espaciamiento y retiro diseño isósceles; unidades en metros

A continuación en la tabla N° 20 se plantea patrón equivalente con un a los usados y además se verificar el incremento o decremento del área de menor influencia para cada uno de los patrones utilizados en las voladuras controladas, tomando en cuenta solo un cambio en la geometría:

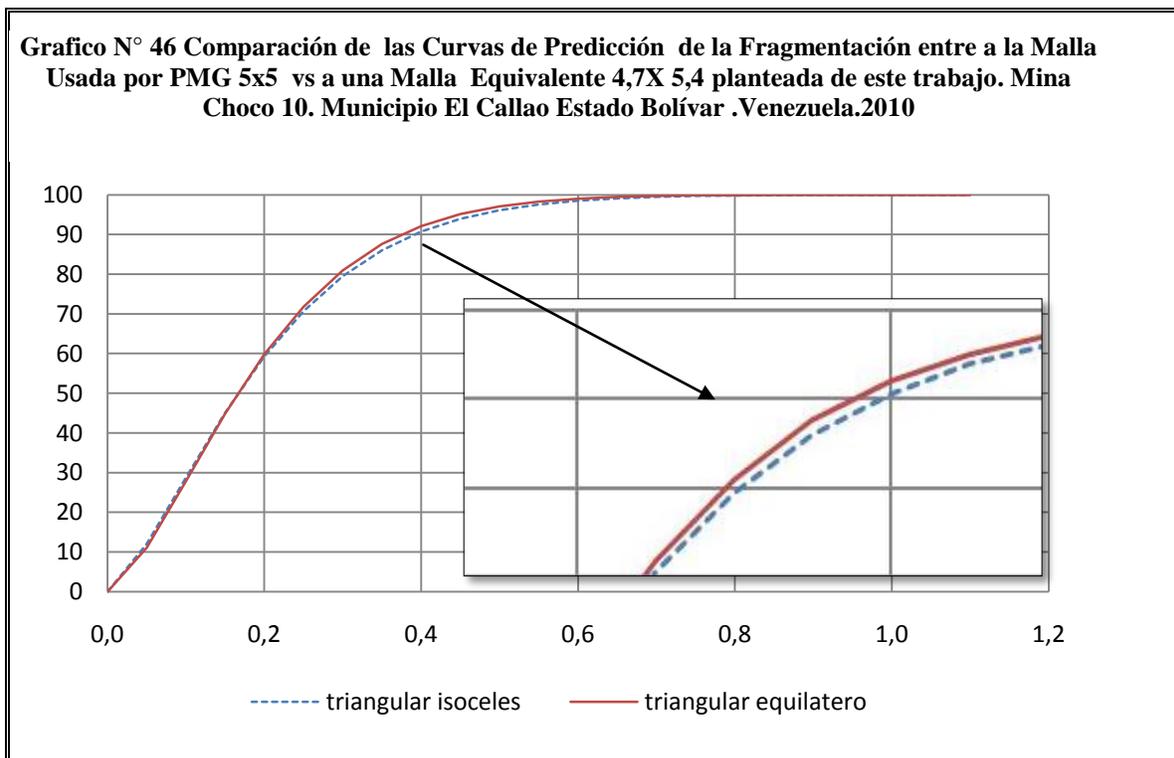
**Tabla N° 20 Patrones Equivalente de acuerdo a los Patrones usados en la mina Choco 10**

VOLADURA	PATRON	ESQUEMA	PATRON EQUIVALENTE	DIFERENCIA
22	5 x 5	Isósceles	4,7 x 5,4	11%
28	4,5 x 5	Isósceles	4,4 x 5,1	3%
34	4 x 4	Isósceles	3,7 x 4,3	11%

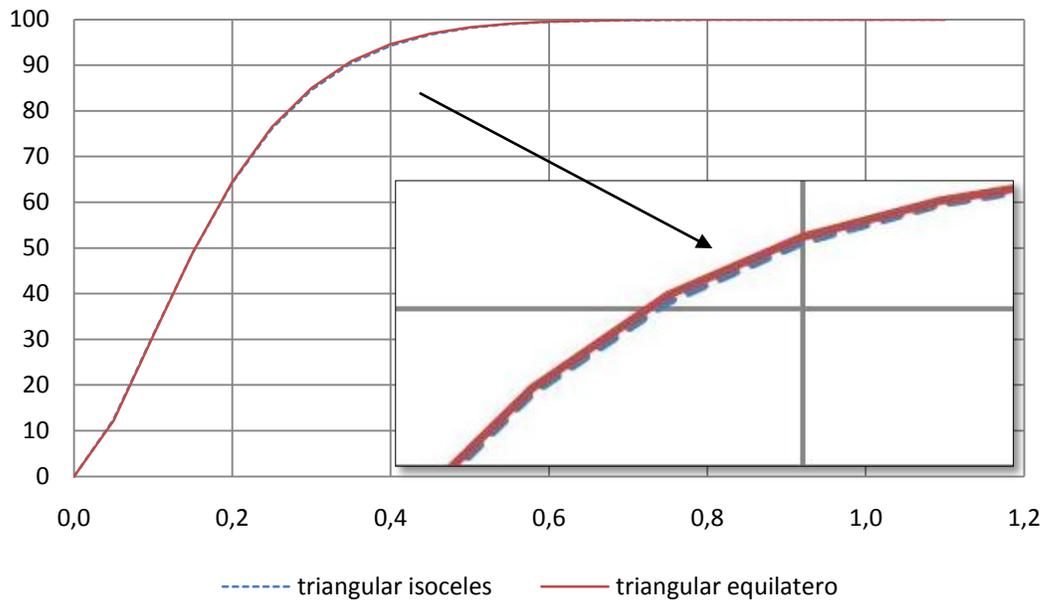
### 5.3.2 Modelo Kuz Ram

Se utiliza este modelo teórico que permite predecir los porcentajes de fragmentación de la roca a ser obtenidos en sus diferentes dimensiones para un diseño en particular.

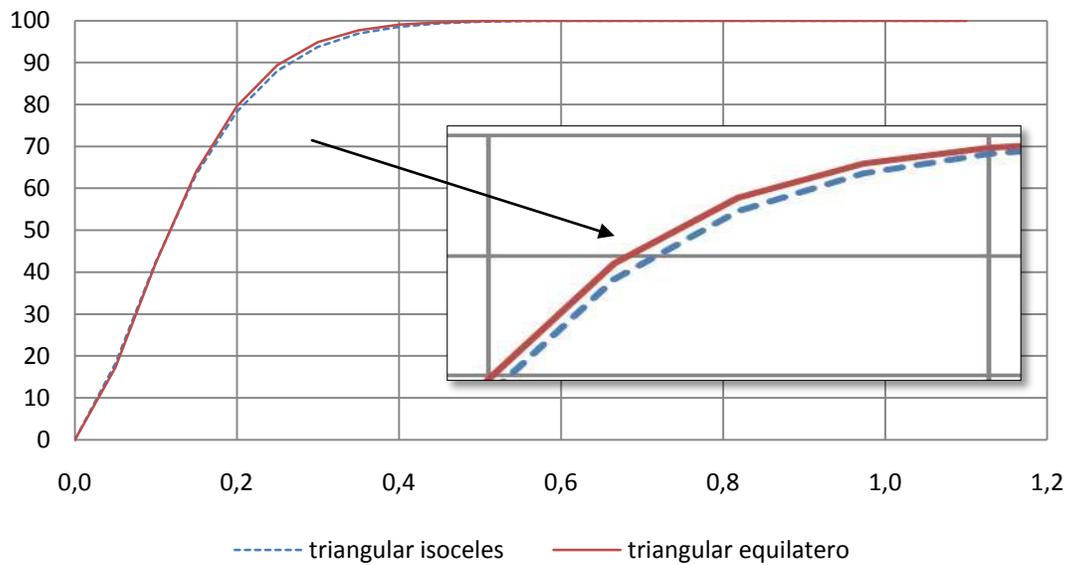
Si se utiliza esta metodología de predicción de la fragmentación para la alternativa que se vienen planteando específicamente para el diseño que viene empleando PMG con el diseño equivalente esto nos permitirá evaluar las curvas predictivas de la fragmentación con lo cual podremos definir la posibilidad de un cambio de diseño.



**Grafico N° 48** Comparación de las Curvas de Predicción de la Fragmentación entre a la Malla Usada por PMG 4,5x5 vs a una Malla Equivalente 4,4 X 5,1 planteada de este trabajo. Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.



**Grafico N° 49** Comparación de las Curvas de Predicción de la Fragmentación entre a la Malla Usada por PMG 4x4 vs a una Malla Equivalente 3,7X 4,3 planteada de este trabajo. Mina Choco 10. Municipio El Callao Estado Bolívar .Venezuela.



De las curvas obtenidas (ver gráficos 46, 47 y 48) vemos en todos los casos analizados una mejora sustancial con respecto del diseño equivalente.

### **5.3 Estimación de Costo**

Cuando se habla de Parámetros de Optimización y mejora como los 2 puntos anteriormente tratados surge la pregunta donde se refleja todo esta optimización, es cierto que la respuesta inmediata es la calidad de la voladura lo cual es correcto pero viene la repregunta donde se refleja la calidad de la voladura, se puede mencionar que se optimiza los procesos de producción, eficiencias de rendimiento de los equipos, y un sinnúmero de actividades pero al final todo lo mencionado se refleja en el Costo Global de Operación.

Del Cuadro de Área de Menor Influencia que la Conversión a una Malla Equivalente en Formato Triangular Equilátero genera entre un 3% a 11% en reducción de la misma, lo cual se convalida con las curvas predictivas de Kuz Ram que nos muestra que la fragmentación mejora con el cambio de Diseño.

Todo lo anterior se cuantifico de la manera siguiente, Se puede mostrar cómo mejora los Costos Globales por Tonelada Volada si con esta modificación se puede recuperar o Ampliar el Área de Influencia en un 3% que sería el mínimo. Todo esto basado en una mejor utilización de la Influencia del Explosivo.

Debido a la confidencialidad de la empresa las estimaciones siguientes que se muestra en la tabla N°21 se harán con precios referenciales.

**Tabla N° 21 Estimación de Costo de los patrones usado por P.M.G y los Planteando en este Trabajo**

<b>PARAMETROS OPERATIVOS</b>			
DISEÑO		ACTUAL	MEJORADO
			3%
ESQUEMA		ISOSCELES	EQUILATERO
ESPACIAMIENTO	Mts	5	5,45
RETIRO	Mts	5	4,72
ALTURA DE PERFORACION	Mts	10	10
SOBREPERFORACION	Mts	1	1
DIAMETRO DE TALADRO	Pulg	6	6
DENSIDAD MATERIAL	Ton/Mt <sup>3</sup>	2,6	2,6
TON/BARRENO	Tons	650	669,5
<b>DISEÑO DE CARGA</b>			
TIPO DE EXPLOSIVO		H(M:70/30)	H(M:70/30)
TIPO DE CARGA		UNA	UNA
MEZCLA EXPLOSIVO		30 / 70	30 / 70
ALTURA DE TACO	Mts	3	3
ALTURA DE CARGA	Mts	8	8
CARGA LINEAL	Kgs_Exp/Mt	24,6	24,6
KG_EXPLOSIVO/BARRENO		196,8	196,8
KG_NITRATO DE AMONIO	Kgs	129,49	129,49
KG_PETROLEO	Kgs	8,27	8,27
KG_EMULSION	Kgs	59,04	59,04
Lts PETROLEO	Lts		
BOOSTER	Unid	1	1
LINEA DESCENDENTE (HAMDIDET)	Unid	1	1
RETARDO SUPERFICIE (CONECTADET)	Unid	0,1	0,1
FULMINANTE N°8	Unid	2	2
MECHA LENTA	Mts	5	5
<b>COSTO UNITARIOS DE PERFORACION Y VOLADURA</b>			
MT_PERFORACION	Bs/Mt	130	130
NITRATO DE AMONIO	Bs/Kg	4,8	4,8
PETROLEO	Bs/Lt	0,086	0,086
EMULSION	Bs/Kg	5,2	5,2
BOOSTER	Bs/Unid	41,46	41,46
LINEA DESCENDENTE (HAMDIDET)	Bs/Unid	129,8	129,8
RETARDO SUPERFICIE (CONECTADET)	Bs/Unid	58,2	58,2
FULMINANTE N°8	Bs/Unid	34,98	34,98
MECHA LENTA	Bs/Mt	8,07	8,07
<b>EVALUACION DE COSTOS</b>			
COSTO PERFORACION x BARRENO	Bs/Barreno	1.430	1.430
COSTO VOLADURA x BARRENO	Bs/Barreno	1.216	1.216
COSTO TOTAL x BARRENO	Bs/Barreno	2.646	2.646
COSTO TOTAL x TON VOLADA	Bs/Tons	4,07	3,95
Bs AHORRO POR TON VOLADA			0,12
% AHORRO POR TON VOLADA	%		2,91

## CONCLUSIONES

- Los resultados de campo muestran que la fragmentación del mineral de las voladuras evaluadas se puede considerar como buena si se toma como referencia el paso del material por la tolva auxiliar, el 93% del material pasó a través de esta.
- En algunas voladuras se pudo observar que la calidad de la fragmentación en el material considerado estéril disminuyó, no guardando relación con los resultados que se obtienen en el mineral.
- Los patrones actualmente utilizados se encuentran dentro de los límites de los patrones teóricos calculados sin alcanzar los límites máximos, lo que nos podría inducir a pensar que estos podrían ser susceptibles a ser incrementados.
- La tendencia actual en PMG es continuar utilizando Diseños Geométricos De Triángulo Isósceles.
- Se ha generado el desplazamiento de mineral en algunas voladuras provocando que el mineral se mezcle con el estéril, esto se pudo apreciar más en las voladuras con arranque central donde el material de los límites laterales se encontraba por debajo del nivel de banco a volar.
- Se ha observado que en algunos casos se tuvo problemas con el nivel de piso, en zonas puntuales, pero en líneas generales los resultados se pueden considerar como buenos.
- En algunas voladuras se ha observado que la Proyección de Material ha sido bastante grande, lo que ocasiona una mayor detención de la operación al tener que retirar o mover el equipo cercano al área de voladura una distancia mayor.

- Muchas veces a ocurrido que las áreas de influencia de la voladura al no ser marcadas correctamente a permitido que los equipos de carguío trabajen en zonas no voladas generando material grueso y deformando el área para el siguiente proyecto de perforación notándose la generación de “desnivel” en el área no volada, lo que ocasiona se confunda la evaluación de los resultados.
- Debido que no se realizo ningún cambio en factor de carga y las curvas de predicción de la fragmentación presentaron mejora, se puede decir que existe actualmente una utilización no óptima del explosivo.
- Los reportes de control que se llevan pueden ser mejorados con la finalidad de lograr un control más preciso de los detalles de forma tal que podamos determinar las posibles causas de un fallo en los resultados.
- Cuando se habla de Optimización de un Sistema de Perforación y Voladura el análisis debe efectuarse de manera conjunta porque básicamente uno depende del otro.
  - Esta dependencia se explica a continuación:

Si se incrementa los parámetros de diseño se reduce los metros de perforación y si se le agrega la evaluación de costo por Ton o  $Mt^3$  es posible tener un margen de reducción aun incrementando el consumo de explosivo si fuera el caso necesario hacer.

Si bien es cierto el metro de perforación tiene un costo, al reducir los metros de perforación reducimos el gasto a invertir en insumos propios de esa operación (brocas, barras, martillo etc.), e incluso si los cambios son bastante grandes es posible reducir la cantidad de máquinas perforadoras o el tiempo de utilización de ellas.

## RECOMENDACIONES

- Si bien es cierto que los resultados que se vienen obteniendo pueden clasificarse como buenos, y utilizando los conceptos de área de Menor Influencia y las Curvas Predictivas de Kuz Ram como respaldo sugerimos, convertir la malla triangular isósceles a una equivalente en un patrón triangular equilátero, lo que abre la posibilidad que una mejor utilización del explosivo en el área de influencia permitiría incrementar las dimensiones de la misma o una reevaluación del Diseño de Carguío.
- En el capítulo de resultados específicamente en la evaluación de costo se aprecia lo que implicaría en el Costo general de Operación una variación como la mencionada.
- La granulometría en la fragmentación del estéril debe guardar la misma calidad que la obtenida en el mineral para mantener el mismo rendimiento de los equipos de carga y acarreo, porque de ser diferente lo que podría estar ahorrándose en la voladura se pierde en una baja productividad de los equipos al emplearse más horas para producir lo mismo, o estar en la necesidad de incrementar los equipos de carguío.
- Se recomienda levantar topográficamente todas las imperfecciones que aparecieran en la voladura, porque esto permite solapar esta información en los planos de perforación, en la hoja de carguío de explosivos, en el plano de secuencia de encendido y así determinar lo ocurrido o que pudo haber producido la falla.
- Para poder determinar los Porcentajes de Fragmentación del Mineral con una mayor exactitud se recomienda la utilización de Software tal como el Split o Wipfrag que permite realizar este control.

- Debe verificarse antes de iniciar la operación de Carguío de Explosivos los Porcentajes de los Componentes de la Mezcla Explosiva para estar seguro de lo que se está cargando es lo apropiado. Hacerlo al final implica que de haber un error, ya no es posible corregirlo o modificarlo lo que incrementa la posibilidad de un fallo al no estarse utilizando el explosivo de las características adecuadas.
  
- Es de suma importancia definir los Reportes de Control y/o Evaluación del proceso de Perforación y Voladura para poder determinar las causas que pueden originar un fallo:
  - Un Levantamiento de los Barrenos Perforados, permite conocer los barrenos que fueron hechos y si estos guardan su ubicación correcta, con lo cual se conoce si realmente el dimensionamiento del patrón es el diseñado.
  
  - Una hoja de carguío, permite conocer si la cantidad de explosivo en cada barreno guarda relación con lo planificado, un exceso puede originar un lanzamiento de material excesivo y peligroso, una cantidad menor una mala fragmentación.
  
  - Una hoja de Control de Alturas, dice si los barrenos tienen la altura correcta, una altura menor nos puede originar un “desnivel”, fragmentación inadecuada, un exceso un mayor consumo de explosivo que va a dañar el banco siguiente, metros perforados innecesarios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Instituto Tecnológico Geominero de España (1994). Manual de Perforación y Voladura de Rocas. España. Madrid.
- Langesfors, U Y Kihlstrom, B. (1973). Técnica Moderna de voladura de rocas. Edición Urmo. Bilbao. 1era edición
- Ucar, R. (1979). Importancia de retiro en el diseño de voladuras parámetros a considerar. Venezuela.
- Gustafsson, Rune (1973) Swedish blasting technique Sweden. Venezuela
- Unión Española de Explosivos (UEE) (2002) Manual de empleo de explosivos Madrid UNIÓN ESPAÑOLA DE EXPLOSIVOS, S.A. (UEE) , España
- EXSA S.A (2001) Manual Práctico de Voladura. Perú. Lima.
- Castillo B. (2002). Análisis y evaluación técnica de la implementación del software Drill & Blast de Micom a las operaciones de perforación y voladura de la Mina Paso Diablo, Municipio Páez, Estado Zulia. Tesis de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Galindo, R. (1999). Factibilidad de implementación de un nuevo método de voladura en Carbones del Guasare S.A. Mina Paso Diablo, sector Baqueta, municipio Mara, Edo. Zulia, Tesis, U.C.V. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Caracas, Venezuela.
- Cediel, V (2001). Implementación de nuevos patrones de perforación y voladura en mina Colombia, CVG, Minerven Tesis, U.C.V. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Caracas, Venezuela.

- Arnaudes R, (2005) Optimización de los Patrones de Voladura en Función de las Característica del Explosivo y de la roca perteneciente a la mina Paso Diablo, Edo Zulia. Tesis, U.C.V. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Caracas, Venezuela.
- Barrios J, (2008) Optimización del patrón de perforación para voladuras en la Parcela Choco 10 de la Empresa Promotora Minera de Guayana P.M.G., S.A. El Callao. Estado Bolívar. Venezuela. Tesis UDO. Escuela de ciencia de la tierra. Bolívar. Venezuela.
- Araya L, (2010) Diseños del patrón de voladura que se ajuste a las dimensiones de una trituradora mediante las aplicación del modelo Kuz- Ram y la simulación de Monte Carlos. UDO. Escuela de Ciencia de la Tierra. Bolívar. Venezuela.
- Arshad M, (2009).The Effect of Fragmentation Specification on Blasting Cost. Queen's University. Kingston, Ontario, Canada.
- Montoya I, (2002). Modelos Predictivo de Fragmentación. Enaex S.A. Buenos Aires. Argentina