

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA IMPLANTACIÓN DEL SOFTWARE DRILL & BLAST DE MINCOM A LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE LA MINA PASO DIABLO, MUNICIPIO PÁEZ, ESTADO ZULIA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de
Ingeniero en Minas
Por el Br. Castillo S. Bladimir J.

Caracas, mayo de 2002.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA IMPLANTACIÓN DEL SOFTWARE DRILL & BLAST DE MINCOM A LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE LA MINA PASO DIABLO, MUNICIPIO PÁEZ, ESTADO ZULIA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ladislao Pregitzer

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Ian Harris

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de
Ingeniero en Minas
Por el Br. Castillo S. Bladimir J.

Caracas, mayo de 2002.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, la Virgen de Betania, mis Padres y Hermanos.

Al Departamento de Minas de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela por permitir la realización del presente trabajo especial de grado.

Al profesor Ladislao Pregitzer, por su labor como tutor académico y coordinador de las actividades necesarias para la culminación del presente trabajo.

A la empresa Carbones del Guasare, por su imprescindible aporte para la realización del presente trabajo especial de grado, así como a todo el personal de dicha empresa.

A los ingenieros Jhon Pollard, Carlos Valera, Ian Harris, Dan Wendell, José G. Paredes, Néstor Rodríguez, José A. Paredes, Julio Cubillan, Vronetsky Cediel, Orlando Arnaudez y Brian Escamilla, por su labor de coordinación y planificación de las actividades realizadas en la empresa.

A los señores Plinio Otero, Hancis Rodríguez y Geraldo Peraza, por su aporte prestado durante las actividades realizadas en la empresa.

A los profesores (as) Alba Castillo, Manuel García, Alex Villanueva y la Sra. Maria Teresa Espinoza, por su colaboración durante las actividades realizadas en la Universidad Central de Venezuela.

A mis amigos (as) Mariana Ortega, Liudmila Blanco, Yormary Arias, Milton Prado, Julio Belisario, Pedro Lezama por su soporte prestado durante la realización del trabajo especial de grado.

Castillo S., Bladimir J..

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA IMPLANTACIÓN DEL
SOFTWARE DRILL & BLAST DE MINCOM A LAS OPERACIONES
DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE LA MINA PASO DIABLO,
MUNICIPIO PÁEZ, ESTADO ZULIA**

**Tutor Académico: Prof. Ladislao Pregitzer. Tutor Industrial: Ing. Ian
Harris.**

**Tesis. Caracas, UCV Facultad de Ingeniería Escuela de Geología Minas
y Geofísica.**

Año 2002, 190 pp.

**Palabras Claves: Software, Carbón, Voladura, Perforación, Bajo Manto,
Zulia, Carbones del Guasare, Paso Diablo, Drill & Blast,
Productividad, Disponibilidad Física y Mecánica,
Utilización de la Disponibilidad Física, Precisión,
Mincom, Minescape.**

Resumen. El presente trabajo se ejecutó debido a la búsqueda de la empresa Carbones del Guasare en tecnificar las operaciones de perforación y voladura de la mina Paso Diablo. Para obtener dicha tecnificación la empresa obtuvo un modulo de Mincom especializado en operaciones de perforación y voladura denominado Module Drill & Blast. El análisis y evaluación técnica de este software y observar sus ventajas y desventajas corresponde al objetivo general para poder ejecutar dicho trabajo.

Se establecieron los datos de control que corresponde a la situación actual de las operaciones de perforación y voladura de la mina Paso Diablo, en cuanto a la eficiencia de los equipos de perforación y la precisión de la

ubicación de las perforaciones. Los cuales arrojaron los siguientes resultados:

- Productividad Promedio Diaria: 41.71 m/h
- Disponibilidad Física Promedio Diario: 76.16%
- Disponibilidad Mecánica Promedio Diario: 65.89%
- Utilización Disponibilidad Física Promedio Diario: 50.66%
- Media o Promedio de la Distancia de la Ubicación de las Perforaciones Reales a las Planificadas: 1.43 metros.

Para poder comparar los datos de control se realizaron un serie de experimentos con cinco (5) voladuras planificadas con el software Drill & Blast. Los cuales arrojaron los siguientes resultados:

- Productividad Promedio Diaria: 41.46 m/h
- Disponibilidad Física Promedio Diario: 83.17%
- Disponibilidad Mecánica Promedio Diario: 78.69%
- Utilización Disponibilidad Física Promedio Diario: 65.67%
- Media o Promedio de la Distancia de la Ubicación de las Perforaciones Reales a las Planificadas: 0.21 metros.

Se concluyó que la implantación de software no afecta la productividad, ni la disponibilidad física de los equipos de perforación. En cambio 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. Además se logra eliminar el tiempo de demora por marcación de patrón de perforación.

En cuanto a las ventajas del software se determino que: fácil generación del patrón de perforación; generación de tablas de coordenadas Geográficas (UTM); exportación e importación de datos con software, tales como, Dispatch, Excel, Autocad, Software de Topografía, etc.; modelados de los mantos de carbón real, mediante la generación de tablas de distancias de profundidades; actualización de coordenadas de ubicación y cotas de los

barrenos perforados mediante la importación de tablas; ubicación de la superficies de intersección dentro de los barrenos, tales como, mantos de carbón, taco, etc.; se puede establecer la distancia de protección del carbón al explosivo, con mucha precisión; las densidades de los materiales explosivos (Anfo, Super-Anfo, emulsiones, etc) y materiales no explosivos (taco, bolsas de aire, gas-bag, paraplug, etc) puede ser modificados e incluso introducidos; generación de tabla de carga de explosivo por barrenos, en distancia y kilogramos de explosivos; generación de los amarres de superficie por barrenos y por líneas, empleando retardadores de superficie y de fondo, cualesquiera sea su tiempo de retardo; determinación de tiempo de detonación; importación y exportación directa con software de datos reales como Dispatch y Aquila; se puede llevar un inventario de las voladuras realizadas y por realizar, además de poder separar las voladuras por bloques y por nivel de ubicación dentro de la mina.

En cuanto a las desventajas del software se determino que: el manejo del software merece de un entrenamiento previo y su uso no es muy sencillo; el software ocupa mucha capacidad de memoria en el disco duro del computador, además se requiere de un procesador superior a Pentium III, con tarjetas de video de tres dimensiones (recomendado); las fallas locales presentes en la mina deforman los mantos modelados por el software; todos los matos de carbón deben ser modelados con los datos reales del campo, debido a que la base geología del software presenta muchos inconvenientes; las tablas de cargas de explosivos son de difícil generación y merecen de una programación avanzada.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I. GENERALIDADES..... | 3 |
| 1.1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL TRABAJO..... | 3 |
| 1.1.1. Objetivo General..... | 3 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos..... | 3 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 4 |
| 1.3. ANTECEDENTES | 4 |
| 1.4. UBICACIÓN Y ACCESO..... | 6 |
| 1.5. TOPOGRAFÍA..... | 7 |
| 1.6. CLIMA Y VEGETACIÓN | 10 |
| 1.6.1. Clima..... | 10 |
| 1.6.1.1. Precipitación. | 10 |
| 1.6.1.2. Temperatura. | 10 |
| 1.6.1.3. Evaporación..... | 11 |
| 1.6.2. Vegetación..... | 11 |
| 1.7. HIDROLOGÍA..... | 12 |
| 1.8. GEOLOGÍA REGIONAL..... | 13 |
| 1.8.1. Formación Guasare. | 13 |
| 1.8.2. Formación Marcelina. | 14 |
| 1.8.3. Formación Misoa. | 15 |
| 1.9. GEOLOGÍA LOCAL | 16 |
| 1.10. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL..... | 17 |
| 1.11. RECURSOS GEOLÓGICOS Y RESERVAS..... | 19 |
| 1.11.1. Reservas ROM. | 23 |
| 1.11.1.1. Pérdida y Dilución..... | 24 |
| 1.11.1.2. Recuperación de Carbón..... | 25 |
| CAPÍTULO II. EXPLOTACIÓN MINA PASO DIABLO..... | 26 |
| 2.1. ANTECEDENTES GENERALES | 26 |

| | | |
|--|--|----|
| 2.2. | MÉTODO DE EXPLOTACIÓN..... | 28 |
| 2.2.1. | Flota de Equipos..... | 31 |
| 2.3. | OPERACIONES BÁSICAS | 33 |
| CAPITULO III. DESCRIPCIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA..... | | 38 |
| 3.1. | GENERALIDADES..... | 38 |
| 3.2. | EQUIPOS DE PERFORACIÓN..... | 42 |
| 3.2.1. | Stratalogger. | 46 |
| 3.3. | PATRÓN DE PERFORACIÓN..... | 49 |
| 3.3.1. | Ubicación de Perforación..... | 51 |
| 3.3.1.1. | Ubicación de Perforación por cinta métrica y a paso..... | 52 |
| 3.3.1.2. | Ubicación de Perforación por GPS (Global Position System)..... | 53 |
| 3.3.2. | Identificación de los Mantos de Carbón..... | 54 |
| 3.4. | EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS DE PERFORACIÓN..... | 57 |
| 3.4.1. | Generalidades. | 57 |
| 3.4.2. | Productividad..... | 57 |
| 3.4.3. | Disponibilidad Física y Mecánica..... | 59 |
| 3.4.4. | Utilización de la Disponibilidad Física..... | 60 |
| 3.5. | SISTEMAS DE VOLADURAS..... | 60 |
| 3.5.1. | Sistema de Voladura Convencional..... | 60 |
| 3.5.2. | Sistema de Voladura Bajo Manto. | 62 |
| 3.6. | ACCESORIOS Y MATERIALES USADOS EN VOLADURAS | 63 |
| 3.6.1. | Detonadores y Mecha Lenta..... | 63 |
| 3.6.2. | Cordón Detonante..... | 64 |
| 3.6.3. | Nonel. | 64 |
| 3.6.4. | Búster. | 65 |
| 3.6.4.1. | Búster de Pentolita. | 65 |
| 3.6.5. | Equipos de Mezcla y Carga..... | 66 |
| 3.6.6. | Gas Bag..... | 67 |
| 3.6.7. | Para-Plug..... | 69 |

| | | |
|---|--|----|
| 3.7. | TIPOS DE EXPLOSIVOS..... | 69 |
| 3.7.1. | ANFO - Nitrato de Amonio (AN) Fuel Oil (FO)..... | 70 |
| 3.7.1.1. | Prills de Nitrato de Amonio (AN). | 70 |
| 3.7.1.2. | Densidad Prills..... | 71 |
| 3.7.1.3. | Cubiertas Protectoras..... | 72 |
| 3.7.1.4. | Velocidad de Detonación..... | 72 |
| 3.7.1.5. | Densidad ANFO..... | 73 |
| 3.7.1.6. | Porcentaje de Fuel Oil..... | 74 |
| 3.7.1.7. | Resistencia al Agua..... | 75 |
| 3.7.1.8. | Vapores..... | 75 |
| 3.7.2. | Emulsiones..... | 76 |
| 3.7.2.1. | Propiedades de Emulsiones..... | 77 |
| 3.7.2.2. | Estructura..... | 78 |
| 3.7.2.3. | Velocidad..... | 79 |
| 3.7.2.4. | Presión de Detonación..... | 79 |
| 3.7.2.5. | Sensibilidad..... | 79 |
| 3.7.2.6. | Resistencia al agua..... | 80 |
| 3.7.3. | Combinaciones (Blends)..... | 81 |
| 3.7.3.1. | Energía de las Combinaciones..... | 82 |
| CAPÍTULO IV. MINCOM DRILL & BLAST MODULE..... | | 86 |
| 4.1. | GENERALIDADES..... | 86 |
| 4.1.1. | Minescape..... | 86 |
| 4.1.1.1. | Plataformas de trabajo..... | 87 |
| 4.1.1.2. | Proyectos..... | 87 |
| 4.1.1.3. | Aplicaciones y Productos..... | 88 |
| 4.1.2. | Aplicación de Minescape..... | 88 |
| 4.1.3. | Componentes de Interfase de Minescape..... | 89 |
| 4.1.3.1. | La Ventana GTI..... | 89 |
| 4.1.3.2. | “Páginas”..... | 89 |
| 4.1.3.3. | Ventana CAD..... | 90 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 4.1.3.4. | Formas..... | 90 |
| 4.1.3.5. | Menús..... | 90 |
| 4.1.4. | Lenguajes de Programación..... | 91 |
| 4.1.4.1. | MPL..... | 91 |
| 4.1.4.2. | Acción MPL..... | 91 |
| 4.1.5. | Módulos..... | 91 |
| 4.1.6. | Bibliotecas y Herramientas..... | 92 |
| 4.1.6.1. | “Minelib”..... | 92 |
| 4.1.7. | Productos de Minescape..... | 92 |
| 4.1.7.1. | Productos Disponibles..... | 92 |
| 4.1.8. | Tipos de datos de Minescape..... | 93 |
| 4.1.8.1. | Archivo de Diseño..... | 93 |
| 4.1.8.2. | Archivos Grid (Rejilla)..... | 98 |
| 4.1.8.3. | Archivo de Tabla..... | 101 |
| 4.2. | DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE..... | 103 |
| 4.2.1. | Estructura (Set up) del Sistema “Dril & Blast”..... | 105 |
| 4.2.1.1. | Definición del Patrón de Perforación..... | 105 |
| 4.2.2. | Generación de un Diseño de Voladura..... | 107 |
| 4.2.2.1. | Crear voladura..... | 107 |
| 4.2.2.2. | Diseñar los barrenos..... | 108 |
| 4.2.2.3. | Generar los Polígonos de Influencia..... | 110 |
| 4.2.2.4. | Proyección de barrenos con la superficie, intervalos y puntos señalados..... | 111 |
| 4.2.2.5. | Coordenadas de Salida de topografía..... | 116 |
| 4.2.3. | Herramientas, Mantenimiento y Edición del Diseño de Voladura..... | 117 |
| 4.2.3.1. | Adicionar barreno..... | 117 |
| 4.2.3.2. | Voladura Actual (Blast Current)..... | 117 |
| 4.2.3.3. | Cálculo de cargas de Explosivos..... | 119 |
| 4.3. | LÓGICA INTERNA DEL SOFTWARE..... | 121 |

| | | |
|--|--|-----|
| 4.3.1. | Interpoladores..... | 121 |
| 4.3.1.1. | El criterio por usar los interpoladores..... | 122 |
| 4.3.1.2. | Interpolación Intrínseca..... | 123 |
| 4.3.2. | Interpoladores de Puntos..... | 124 |
| 4.3.2.1. | Polígonos de Influencia..... | 125 |
| 4.3.2.2. | Distancia Inversa..... | 126 |
| 4.3.2.3. | Superficie de Tendencia..... | 128 |
| 4.3.2.4. | Altura..... | 129 |
| 4.3.2.5. | Contorno..... | 131 |
| 4.3.2.6. | Línear..... | 132 |
| 4.3.2.7. | Planar..... | 133 |
| 4.3.2.8. | Triángulo..... | 134 |
| 4.3.3. | Interpoladores Grid..... | 134 |
| 4.3.3.1. | Sección..... | 135 |
| 4.3.3.2. | Spline..... | 136 |
| 4.3.3.3. | Método de Diferencia Finita (MDF)..... | 137 |
| 4.3.3.4. | Método de Elemento Finito (MEF)..... | 138 |
| CAPÍTULO V. DESARROLLO EXPERIMENTAL..... | | 140 |
| 5.1. | METODOLOGÍA..... | 140 |
| 5.2. | DATOS DE CONTROL..... | 143 |
| 5.2.1. | Productividad..... | 143 |
| 5.2.2. | Disponibilidad Física y Mecánica..... | 144 |
| 5.2.3. | Utilización de la Disponibilidad Física..... | 145 |
| 5.2.4. | Precisión y Eficiencia de la Perforación..... | 146 |
| 5.3. | VOLADURAS PLANIFICADAS POR EL SOFTWARE DRILL & BLAST..... | 149 |
| 5.3.1. | Voladura #229..... | 149 |
| 5.3.2. | Voladura #237..... | 151 |
| 5.3.3. | Voladura #245..... | 153 |
| 5.3.4. | Voladura #280..... | 155 |

| | |
|---|-----|
| 5.3.5. Voladura #313. | 157 |
| 5.4. RESULTADOS..... | 159 |
| 5.4.1. Productividad..... | 159 |
| 5.4.2. Disponibilidad Física y Mecánica..... | 161 |
| 5.4.3. Utilización de la Disponibilidad Física..... | 165 |
| 5.4.4. Precisión y Eficiencia de la Perforación..... | 167 |
| 5.4.5. Voladura Planificadas con el Software Drill & Blast..... | 169 |
| 5.4.5.1. Voladura #229..... | 169 |
| 5.4.5.2. Voladura #237..... | 170 |
| 5.4.5.3. Voladura #245..... | 170 |
| 5.4.5.4. Voladura #280..... | 171 |
| 5.4.5.5. Voladura #313..... | 171 |
| 5.5. ANALISIS DE RESULTADOS..... | 171 |
| 5.5.1. Productividad..... | 172 |
| 5.5.2. Disponibilidad Física y Mecánica..... | 175 |
| 5.5.3. Utilización de la Disponibilidad Física..... | 177 |
| 5.5.4. Precisión y Eficiencia de la Perforación..... | 179 |
| 5.5.5. Evaluación de la calidad de las voladuras Planificadas con el software..... | 181 |
| 5.5.6. Ventajas y Desventajas del Software Drill & Blast..... | 182 |
| CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 184 |
| 6.1. CONCLUSIONES..... | 184 |
| 6.2. RECOMENDACIONES..... | 187 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 188 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1. Mapa de ubicación de la Cuenca Carbonífera del Guasare. | 8 |
| Figura 1.2. Mapa de ubicación general de la Mina Paso Diablo. | 9 |
| Figura 1.3. Columna estratigráfica tipo de la Mina Paso Diablo..... | 18 |
| Figura 1.4. Sección Tipo de la Mina Paso Diablo. | 20 |
| Figura 1.5. Reservas de mineral de carbón de la Cuenca Carbonífera del Guasare. | 22 |
| Figura 1.6. Recursos Geológicos de mineral de carbón presentes en Venezuela. | 22 |
| Figura 2.1. Paneles de Trabajo empleados en la planificación de la mina. ... | 30 |
| Capacidad | 31 |
| Figura 2.2. Diagrama de Operaciones Básicas de la Mina Paso Diablo..... | 37 |
| Figura 3.1. Perforación de Barrenos. | 40 |
| Figura 3.2. Carga de Barrenos con el camión de explosivos (Camaleón). ... | 41 |
| Figura 3.3. Perforadora Drilltech D75K. | 44 |
| Figura 3.4. Broca Baker Hughes y sus componentes. | 45 |
| Figura 3.5. Serie de Brocas Baker Hughes usadas en la mina Paso Diablo | 46 |
| Figura 3.6. Grafico de Tasa de Penetración versus Profundidad..... | 47 |
| Figura 3.7. (a) Indicador de Eficiencia para Perforación (DEI)..... | 48 |
| (b) Terminal Manual. | 48 |
| Figura 3.8. Transferencia de datos Stratalogger – Laptop..... | 49 |
| Figura 3.9. Puntos de Difícil Fragmentación en la Voladura. | 52 |
| Figura 3.10. Sistema de Identificación de Mantos (Sondeo Geofísico)..... | 56 |
| Figura 3.11. Diagrama del Sistema de Voladura Convencional..... | 62 |
| Figura 3.12. Sistema de Voladura Bajo Manto. | 62 |
| Figura 3.13. Estructura Detonador..... | 63 |
| Figura 3.14. Camión Mezclador de Explosivos. | 67 |
| Figura 3.15. Estructuras Tipos de Gas Bag. | 68 |
| Figura 3.16. Proceso de la manufacturación de los prills de AN..... | 71 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.17. Velocidad de Detonación del ANFO vs Diámetro de Barreno... | 73 |
| Figura 3.18. (a) Ewk y Velocidad de Detonación versus Porcentaje de Fuel Oil. (b) Vapores de ANFO versus porcentaje de Fuel Oil..... | 75 |
| Figura 3.19. Oxidante rodeado por combustible. | 77 |
| Figura 3.20. Estado final de Presión vs Energía disponible..... | 84 |
| Figura 4.1 Arquitectura de Minescape | 88 |
| Figura 4.2. Jerarquía dentro de un Archivo de Diseño..... | 95 |
| Figura 4.3. Flexibilidad de las capas de Minescape..... | 96 |
| Figura 4.4. Componentes de un Grid..... | 99 |
| Figura 4.5 Grid (Rejillas) y “Subrejillas” | 100 |
| Figura 4.6 Estructura de un Archivo de Tabla..... | 102 |
| Figura 4.7 Nomenclatura del Patrón de perforación. | 105 |
| Figura 4.8 Creación de Polígono Límite y voladura. | 108 |
| Figura 4.9. Diseño de los Barrenos..... | 110 |
| Figura 4.10 Polígonos de Influencia..... | 111 |
| Figura 4.11 Barreno y Superficies de Intersección | 112 |
| Figura 4.12. Proyección de Barrenos..... | 115 |
| Figura 4.13. Puntos de Intersección dentro de un Barreno..... | 115 |
| Figura 4.14. Efecto del poder de peso sobre el inverso de la Distancia. ... | 127 |
| Figura 4.15. Punto dentro de una celda Grid. | 135 |
| Figura 5.1. Posicionamiento Perforación Real y Perforación Planificada. .. | 141 |
| Figura 5.2. Grafico de Frecuencia de la Diferencia de las Distancias..... | 180 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1.1. Aspectos para el diseño de los patrones de perforación..... | 6 |
| Tabla 1.2. Reservas y Calidades por Manto de Carbón. | 23 |
| Tabla 1.3. Factores de Recuperación de Carbón, Pérdida y Dilución por Manto..... | 24 |
| Tabla 1.4. Calidad de Dilución Asumida. | 25 |
| Tabla 2.1. Flota de Acarreo. | 31 |
| Tabla 2.2. Flota de Palas. | 31 |
| Tabla 2.3. Flota de Perforadoras. | 31 |
| Tabla 2.4. Flota de Cargadores. | 32 |
| Tabla 2.5. Flota de Tractores de Orugas. | 32 |
| Tabla 2.6. Flota de Motoniveladoras..... | 32 |
| Tabla 2.7. Flota de Equipos de Riego..... | 32 |
| Tabla 2.8. Flota de Tractores de Ruedas (TIGER). | 33 |
| Tabla 3.1. Patrones de perforación usados en la mina Paso Diablo..... | 50 |
| Tabla 3.2. Características Generales de algunos de los Productos de Emulsión. | 80 |
| Tabla 3.3. Características generales de algunos de los productos de combinación de emulsión y ANFO..... | 85 |
| Tabla 4.1. Características de Interpolador de Polígonos de Influencia..... | 126 |
| Tabla 4.2. Características de Interpolador de Distancia Inversa..... | 127 |
| Tabla 4.3. Características de Interpolador de Superficie de Tendencia.... | 129 |
| Tabla 4.4. Características de Interpolador de Altura..... | 131 |
| Tabla 4.5. Características de Interpolador de Contorno. | 132 |
| Tabla 4.6. Características de Interpolador de Línea. | 133 |
| Tabla 4.7. Características de Interpolador Planar..... | 133 |
| Tabla 4.8. Características de Interpolador de Triángulo. | 134 |
| Tabla 4.9. Características de Interpolador de Sección. | 136 |
| Tabla 4.10. Características de Interpolador Spline. | 137 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4.11. Características de Interpolador MDF | 138 |
| Tabla 4.12. Características de Interpolador MEF..... | 139 |
| Tabla 5.1. Productividad promedio mensual por Perforadora..... | 144 |
| Tabla 5.2. Disponibilidad Física promedio mensual por Perforadora..... | 144 |
| Tabla 5.3. Disponibilidad Mecánica promedio mensual por Perforadora. ... | 145 |
| Tabla 5.4. Utilización de la Disponibilidad Mecánica promedio mensual por Perforadora..... | 146 |
| Tabla 5.5. Estadística Voladura #150. | 146 |
| Tabla 5.6. Estadística Voladura #152. | 147 |
| Tabla 5.7. Estadística Voladura #274. | 147 |
| Tabla 5.8. Estadística Voladura #282. | 147 |
| Tabla 5.9. Estadística Voladura #291. | 147 |
| Tabla 5.10. Estadística Voladura #292. | 148 |
| Tabla 5.11. Estadística Voladura #304. | 148 |
| Tabla 5.12. Estadística Voladura #305. | 148 |
| Tabla 5.13. Estadística del Total de la Población de las Voladuras No Planificadas con el Software..... | 149 |
| Tabla 5.14. Productividad de Perforadoras utilizadas en Voladura #229.... | 159 |
| Tabla 5.15. Productividad de Perforadoras utilizadas en Voladura #237.... | 160 |
| Tabla 5.16. Productividad de Perforadoras utilizadas en Voladura #245.... | 160 |
| Tabla 5.17. Productividad de Perforadoras utilizadas en Voladura #280.... | 160 |
| Tabla 5.18. Productividad de Perforadoras utilizadas en Voladura #313.... | 160 |
| Tabla 5.19. Promedio de Productividades por Perforadora Voladuras planificadas con el Software. | 161 |
| Tabla 5.20. Disponibilidades Físicas Perforadoras utilizadas en Voladura#229. | 161 |
| Tabla 5.21. Disponibilidades Físicas Perforadoras utilizadas en Voladura#237. | 162 |
| Tabla 5.22. Disponibilidades Físicas Perforadoras utilizadas en Voladura#245. | 162 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 5.23. Disponibilidades Físicas Perforadoras utilizadas en Voladura#280. | 162 |
| Tabla 5.24. Disponibilidades Físicas Perforadoras utilizadas en Voladura#313. | 162 |
| Tabla 5.25. Disponibilidades Mecánicas Perforadoras utilizadas en Voladura#229. | 163 |
| Tabla 5.26. Disponibilidades Mecánicas Perforadoras utilizadas en Voladura#237. | 163 |
| Tabla 5.27. Disponibilidades Mecánicas Perforadoras utilizadas en Voladura#245. | 163 |
| Tabla 5.28. Disponibilidades Mecánicas Perforadoras utilizadas en Voladura#280. | 163 |
| Tabla 5.29. Disponibilidades Mecánicas Perforadoras utilizadas en Voladura#313. | 164 |
| Tabla 5.30. Promedio de Disponibilidades Físicas por Perforadora en Voladuras Planificadas con el Software..... | 164 |
| Tabla 5.31. Promedio de Disponibilidades Mecánicas por Perforadora en Voladuras Planificadas con el Software..... | 165 |
| Tabla 5.32. Utilización de Perforadoras utilizadas en Voladura #229. | 165 |
| Tabla 5.33. Utilización de Perforadoras utilizadas en Voladura #237. | 166 |
| Tabla 5.34. Utilización de Perforadoras utilizadas en Voladura #245. | 166 |
| Tabla 5.35. Utilización de Perforadoras utilizadas en Voladura #280. | 166 |
| Tabla 5.36. Utilización de Perforadoras utilizadas en Voladura #313. | 166 |
| Tabla 5.37. Promedio de Utilización de la Disponibilidad Física por Perforadora en Voladuras Planificadas con el Software..... | 167 |
| Tabla 5.38. Estadística Voladura #229. | 167 |
| Tabla 5.39. Estadística Voladura #237. | 168 |
| Tabla 5.40. Estadística Voladura #245. | 168 |
| Tabla 5.41. Estadística Voladura #280. | 168 |
| Tabla 5.42. Estadística Voladura #313. | 168 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 5.43. Estadística del Total de la Población de las Voladuras Planificadas con el Software..... | 169 |
| Tabla 5.44. Intervalos de Confianza de las Productividades de las Perforadoras..... | 173 |
| Tabla 5.45. Promedio diario del Tiempo de Demora por Marcado de Patrón de Perforación..... | 174 |
| Tabla 5.46. Intervalos de Confianza de las Disponibilidades Físicas y Mecánicas de las Perforadoras..... | 175 |
| Tabla 5.47. Intervalos de Confianza de la Utilización de la Disponibilidad Física de las Perforadoras..... | 178 |
| Tabla 5.48. Intervalos de Confianza de Ubicación de las Perforaciones. ... | 179 |

INTRODUCCIÓN

La mina Paso Diablo, perteneciente a la empresa Carbones del Guasare, S.A., formada por los Grupos Carbozulia (filial de PDVSA), Angloamérica y Ruhrkohle, se encuentra ubicada en el municipio Páez aproximadamente a 100 km al noroeste de la ciudad de Maracaibo del Estado Zulia. Se dedica a la extracción de carbón de la cuenca carbonífera del Guasare, localizada en el pie de monte oriental de la Sierra de Perijá en el Sinclinal de Manuelote, mediante un sistema de explotación a cielo abierto.

La producción de mineral de carbón en la mina Paso Diablo comenzó en 1987, cuando la mina dio a conocer el mineral en los mercados internacionales. Actualmente la mina Paso Diablo cuenta con una tasa de producción de 6 millones de toneladas al año, siendo esta la mina de carbón más grande en Venezuela. Existen otros proyectos de minas de carbón en Venezuela, como lo son mina Socuy y mina Cachiri, los cuales se anexarían a la producción de carbón de la cuenca carbonífera del Guasare, junto a mina Paso Diablo y mina Norte.

Con respecto a la planificación y producción la mina Paso Diablo cuenta con dos software de minería que permiten optimizar el proceso productivo, dichos software son el Mincom y Dispatch. Constantemente en la mina Paso Diablo se actualiza la topografía mediante la utilización del sistema GPS (Global Position System), dicho sistema de localización le sirve a Dispatch para la ubicación de todos los equipos que conforman las operaciones (camiones, palas, tractores, perforadoras, etc.). Dada la importancia de las operaciones de perforación y voladura en el proceso minero, Carbones del Guasare adquirió recientemente un software de minería que trabaja en conjunto con la base geológica (Mincom) y se denomina Mincom Drill & Blast Module; se encarga de diseñar las actividades de perforación y voladura como lo es el patrón de perforación, profundidad de los barrenos, dirección de la perforación, cargas de los explosivos, costos

de explosivos, etc. Este software ha sido adaptado (puede ser adaptado a cualquier mina, que utilice en su base geológica el software Mincom) especialmente para el área de perforación y voladura de la mina Paso Diablo, es decir, todas las características de buzamiento y rumbo de los mantos de carbón que están registrados en el programa de Mincom y Geodas se almacenan automáticamente en Drill & Blast.

El propósito de este proyecto es desarrollar un análisis y evaluación técnica de la implantación del software Mincom Drill & Blast, para la planificación de las operaciones de perforación y voladura de la mina Paso Diablo. El principal objetivo de este estudio estará dirigido a la evaluación de las productividades de los equipos de perforación, costos asociados a dichas productividades, precisión de los patrones de perforación y eficiencia de la aplicación del software.

Dentro de los temas a tocar dentro de este trabajo se encuentran las generalidades de la empresa, significado de la explotación de la mina Paso Diablo, la descripción de las operaciones de la mina Paso Diablo, el desarrollo experimental ejecutado para cumplir con los objetivos planteados y las conclusiones y recomendaciones a las cuales se llegó.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL TRABAJO

1.1.1. Objetivo General.

- Analizar y Evaluar los beneficios técnicos derivados de la implantación del software Drill & Blast de Mincom en las operaciones de perforación y voladura de la mina Paso Diablo, en el sector Baqueta, perteneciente a la empresa Carbones del Guasare S.A.

1.1.2. Objetivos Específicos.

- Establecer los parámetros que intervienen en la planificación y la ejecución de las operaciones de perforación y voladura de la mina.
- Analizar la situación actual de las operaciones de perforación y voladura de la mina.
- Calcular los rendimientos actuales de los equipos de perforación.
- Evaluar la precisión en la ubicación de las perforaciones sin la aplicación del software.
- Realizar una serie de voladuras aplicando el software Mincom Drill & Blast Module en las operaciones de perforación y voladura de la mina.
- Determinar el efecto que tiene el software sobre la precisión de la ubicación de las perforaciones.
- Evaluar la calidad de las voladuras con la aplicación del software.
- Calcular los rendimientos de los equipos de perforación.
- Evaluar las ventajas y desventajas de la implantación del software.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente la mina Paso Diablo, cuenta con una planificación de las operaciones de perforación y voladura (tanto voladuras convencionales como para las voladuras bajo manto), la cual realiza el personal de ingeniería que trabaja en dicha empresa, presentándose problemas de precisión a la hora de registrar los datos de campo y como consecuencia inmediata la alteración de los diseños de las operaciones de perforación y voladura, afectando la calidad de la voladura. Dado lo antes expuesto la empresa se vio en la necesidad de realizar un proyecto de investigación a fin de tecnificar todo el proceso de las actividades relacionadas con la perforación y voladura de la mina, para mejorar la productividad de estas actividades y por consiguiente lograr una disminución de los costos de producción del carbón.

Para lograr dicha tecnificación la empresa incorporó al departamento de planificación un software de perforación y voladura que se encarga de simular todas estas actividades por medio de un computador. De modo que una evaluación de este software permitirá cuantificar los beneficios que estarían alcanzando con la implantación del mismo.

Las operaciones de perforación y voladura son actividades que dentro del proceso minero acarrear importantes costos de producción, es debido a esto, que una mejora en la eficiencia de estas operaciones influye de forma significativa dentro de la actividad minera.

1.3. ANTECEDENTES

Las voladuras denominadas Bajo Manto, que consisten en atravesar los mantos de carbón, se realizan en minas con características geológicas similares a la mina Paso Diablo, como es el caso de la mina Cerrejón, ubicada en la parte noreste de Colombia, y fue exactamente en esta mina que se originaron las voladuras Bajo Manto, específicamente en el año 1989.

Dado que los resultados obtenidos por la mina Cerrejón fueron muy satisfactorios, la mina Paso Diablo realizó un estudio de Investigación en 1999, ejecutado por la hoy Ingeniero Rosanela Galindo, bajo la tutoría del Ingeniero Ovis Prieto, el cual tuvo como objetivo principal estudiar la factibilidad de implementar el método de voladura Bajo Manto en la mina, específicamente en el Sector Baqueta, de la misma.

Los resultados obtenidos por este proyecto generaron como conclusión más relevante que la implementación del sistema de voladura bajo manto, es más factible que el sistema de voladuras convencionales. Se podría decir que la única desventaja del método de voladura bajo manto con respecto al convencional, es que se requiere de un buen diseño de estas voladuras, ya que se debe conocer la profundidad exacta a la que se encuentra el manto de carbón, para poder determinar las cargas inferiores y superiores al manto, como también la separación de protección que deben de tener estas cargas con respecto al manto. De ocurrir una eventualidad en el diseño se refleja en la pérdida del carbón, debido a que se contamina con el estéril o es afectado por los gases de la voladura.

Para realizar los diseños de las voladuras en la mina se conoce que la geología presente en la zona esta formada por rocas medianamente blandas a dura, y se han determinado valores de resistencia a la compresión hasta de 5000 lb/pulg².

Dado que la mina trabaja con dos tipos de rocas a la hora de realizar los diseños de voladura tanto convencionales, las cuales son rocas duras y rocas blandas. La longitud del taco (detritus de perforación) para todos los barrenos esta establecida en cuatro (4) metros y la sobreperforación es de dos (2) metros. El diámetro de perforación es de 9 7/8 pulgadas (251 mm), para todas las voladuras. El tipo de explosivo que se utiliza en la mina depende de la presencia de agua dentro del barreno. Emulsión (Ápex La) y Heavy Anfo (Súper Anfo 70/30 ó 60/40) cuando hay presencia de agua, y Anfo cuando no existe agua en el barreno. La secuencia de encendido se

realiza buscando un frente libre, de no existir el frente libre se inicia la voladura por la primera línea de la cuña superior. Los accesorios de voladuras que se utilizan en la mina son: Búster, Noneles, Mecha lenta, Fulminantes y Retardos (generalmente de 42 ms y 100 ms). En la tabla 1.1, se muestra los aspectos para el diseño de los patrones de perforación que se utiliza en la mina Paso Diablo. Los diseños de las voladuras son realizadas de forma manual (utilizando software de computadoras como Excel) por el personal de la mina, en la definición de los límites del patrón, los contornos del terreno original son previamente ubicados en un mapa, y marcados en el campo por el personal de topografía por medio de estacas.

| Sistema de Voladura | | Patrón de Perforación (m x m) | |
|---------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | Roca Dura | Roca Blanda |
| Convencional | Cuña Superior ó Inferior | 4 x 4 6 x 6 8 x 8 Cuadrado | 4 x 4 6 x 6 8 x 8 Cuadrado |
| | Full Face | 8 x 8 trebolillo | 10 x 10 Cuadrado |
| Bajo Manto | | 8 x 8 trebolillo | 8 x 8 trebolillo |

Tabla 1.1. Aspectos para el diseño de los patrones de perforación.

1.4. UBICACIÓN Y ACCESO

El Yacimiento Carbonífero del Guasare, se encuentra ubicado en el pie de monte oriental de la Sierra de Perijá en el Sinclinal de Manuelote, al noroeste del estado Zulia, en el municipio Páez. Con coordenadas geográficas N 1.215.000 – 1.225.000 de latitud norte y E 795.000 – 800.000 de latitud oeste (ver Figura 1.1). La cuenca tiene una extensión aproximada de 50 km de largo, en dirección norte–sur, por unos 3 km de ancho. El poblado más cercano al área de trabajo de la Mina Paso Diablo es Carrasquero, el cual se encuentra a 53 km. Y la mina se encuentra a unos 100 km de la ciudad de Maracaibo.

El acceso a la mina Paso Diablo se realiza mediante las vías asfaltadas de Maracaibo– Carrasquero, Maracaibo– La Mirella, Maracaibo– Campamento General Wenceslao Briceño Méndez, que conducen hasta las instalaciones de la mina aproximadamente a 3 kilómetros del caserío La Mirella, se toma un desvío hacia la derecha que conduce al Centro de Operaciones Mineras de Carbones del Guasare. El acceso hacia el campamento, se realiza por vías asfaltadas, transitables durante todo el año y para todo tipo de vehículo. En la Figura 1.2 se muestra un mapa de la ubicación general de la mina Paso Diablo.

1.5. TOPOGRAFÍA

De acuerdo con un análisis hipsométrico realizado en la mina Paso Diablo, se llegó a la conclusión de que el sector “Baqueta”, en cuanto a su altitud se refiere, viene a formar parte del relieve del piedemonte, perteneciente a la cuenca del río Guasare, la cual constituye una zona de altitud moderada cuyas partes más bajas se encuentran entre los 80 y 100 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y las más elevadas alcanzan altitudes de unos 220 m.s.n.m.

De una forma general, la cuenca hidrográfica del Guasare presenta una pendiente media de 52%.

Esta área se caracteriza por presentar:

- Una zona plana y suavemente inclinada, cuyas pendientes no son mayores de un 7%.
- Una zona que viene a ser la parte más accidentada del área estudiada, formada por algunas montañas adyacentes a los caños y cuyas pendientes sobrepasan el 20%.
- El sector donde se encuentra la mina, esta constituido por colinas y valles con elevaciones máximas de 200 m.s.n.m y cota media de 150 m.s.n.m.



Figura 1.1. Mapa de ubicación de la Cuenca Carbonífera del Guasare.

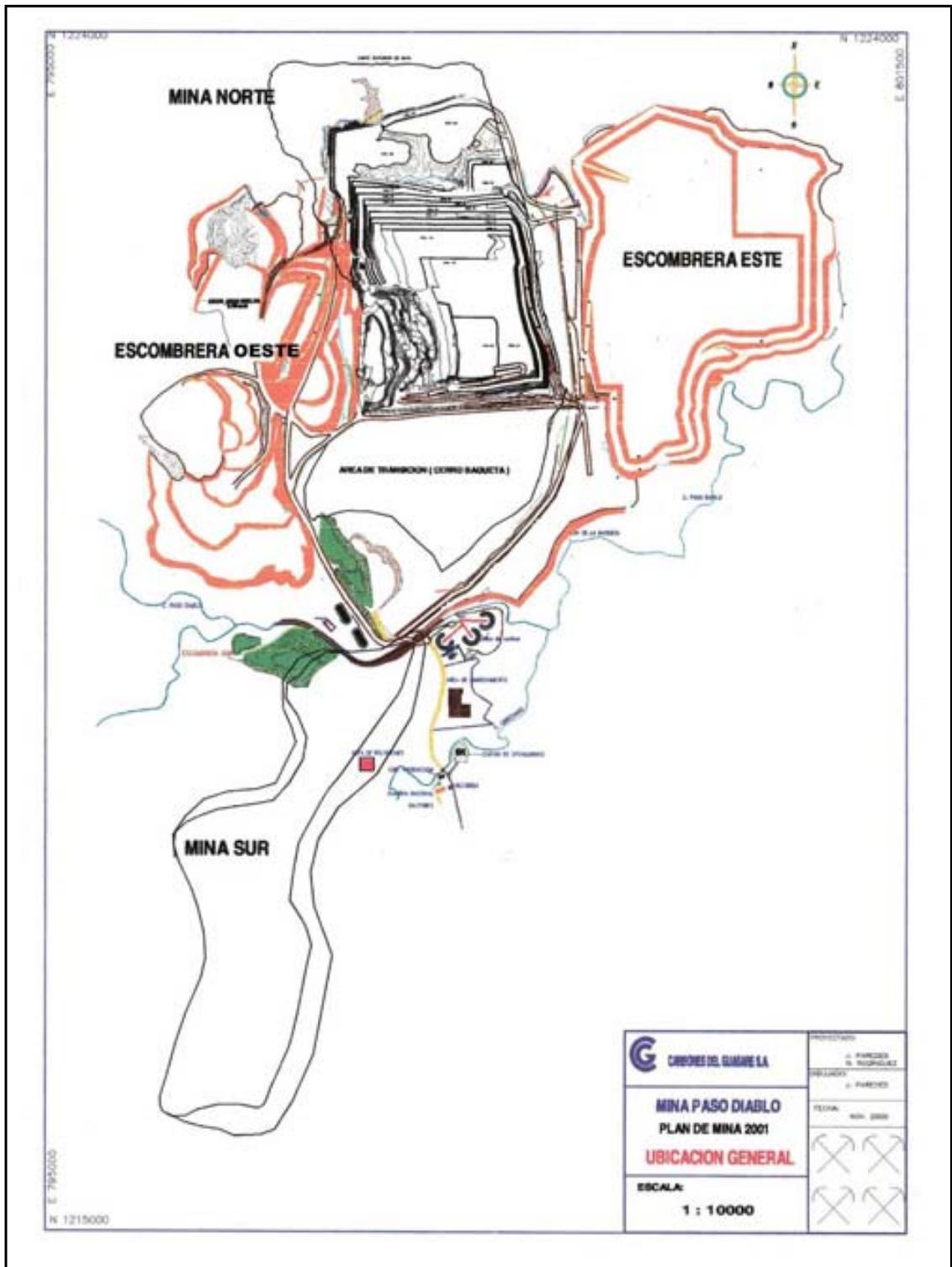


Figura 1.2. Mapa de ubicación general de la Mina Paso Diablo.

1.6. CLIMA Y VEGETACIÓN

1.6.1. Clima.

Los datos básicos considerados como parámetros climatológicos son: la precipitación, la temperatura, y la evaporación.

1.6.1.1. Precipitación.

Según histogramas de precipitación de la estación climatológica El Carbón, la distribución media mensual para seis años (periodo 1994 – 2000), es bimodal, las máximas precipitaciones se producen entre los meses de abril a mayo y de agosto a noviembre, las mínimas se registran entre los meses de diciembre a marzo y de junio a julio, con un promedio anual de 1004.2 mm. Las precipitaciones anuales en la estación El Carbón son muy variables, particularmente entre 1996 y el resto de los años. El año 1996 la precipitación anual fue de 633.4 mm, en cambio en el resto de los años varia entre 990,5 mm (1998) y 1191.9 mm (1995). En la estación Carichuano para el periodo de seis años (1994 – 2000), la distribución mensual de las precipitaciones también es bimodal, muy similar a la estación El Carbón con máximos entre los meses de abril a mayo y de agosto a noviembre en cambio los mínimos se registran entre los meses de diciembre a marzo y junio a julio. El promedio anual para este periodo es de 1012.0 mm, el cual tiene poca diferencia (998.3 mm) con relación al último periodo evaluado 1994 – 1998.

1.6.1.2. Temperatura.

La temperatura mínima media varía entre 21.1 °C, con un promedio anual de 23.5 °C en la estación EL Carbón y entre 21.6 °C y 24.4 °C, con un

promedio anual de 23.1 °C en la estación Carichuano. La Temperatura máxima media varia entre 31.5 °C y 35.2 °C con un promedio anual de 32.5 °C para la segunda. La temperatura media anual varía entre 26.3 °C y 29.9 °C, con un promedio anual de 28.3 °C y entre 26.2 °C y 29.1 °C, con un promedio anual de 27.8 °C respectivamente. La diferencia de la temperatura media con la relación a la máxima y la mínima es cerca de ± 5 °C.

1.6.1.3. *Evaporación.*

Las distribuciones mensuales de la evaporación potencial para el periodo de 1994 – 2000 en las estaciones El Carbón y Carichuano son similares. Estas distribuciones son bimodales, con máximos entre los meses de marzo a abril y de junio a septiembre y los mínimos entre octubre y febrero y el mes de mayo. Los promedios anuales para la primera estación es de 1985.1 mm y de 1958.5 mm para la segunda. Estos valores son parecidos a los del periodo 1994 – 1998 el último que fue evaluado. Los meses con evaporaciones más altas coinciden con los meses de mayor temperatura.

1.6.2. **Vegetación.**

La vegetación natural observada en la mina está constituida en su mayoría por especies deciduas, de capas redondas a semiplanas, de moderada densidad y con un dosel relativamente poco compacto.

La vegetación de la zona está caracterizada por especies de porte mediano, bajo o rastreros, dado el alto grado de intervención a que fue sometida la misma en épocas pasadas, cuando fueron extraídas grandes cantidades de material comercial para surtir del aserrío de la zona. Los mayores vestigios se observan en la zona protectora de los cursos de agua que le sirven de linderos a la referida área de terrenos.

La vegetación de la zona en las áreas planas puede diferenciarse en tres (3) estratos bien definidos, pudiéndose diferenciar las mismas de la siguiente manera: un estrato superior o arbóreo representado por individuos aislados de algunas especies tales como: Jabilla, Vera, Canalete, Curarire, Lara o Saman, Carreto, Penda, Cacahuito, por especies herbarias y la regeneración natural de algunas especies del estrato superior.

Ahora bien, en las áreas adyacentes a los caños se puede hablar de o diferenciar tres estratos: un estrato superior, el cual va a estar constituido por algunos individuos arbóreos, de fuste recto, un sotobosque o piso intermedio el cual presenta la característica de ser despejado o ralo, con muy poca regeneración natural del bosque; y un estrato inferior, conformado en su mayoría por especies rastreras, las cuales no son muy exigentes en cuanto a la luz solar se refiere.

1.7. HIDROLOGÍA

La expresión del relieve refleja en gran parte la composición y la orientación de la estratificación de las rocas sedimentarias, así como las principales estructuras geológicas; en este sentido, se observan colinas de distintos tamaños, con su cuesta y contracuesta de buzamiento, tal como aparece claramente definido al norte y este del área estudiada, en la Fila del Norte paralela al caño planeta y a las colinas bajas adyacentes a las vías, entre Caño Baqueta, Caño izquierdo y Caño Derecho. Así mismo, se localizan alineamientos depresivos coincidentes con trazas de fallas por donde drenan algunos caños, formando segmentos de cauce recto y con cruces ortogonales. La mayor parte del área, aproximadamente el 60%, posee drenaje de tipo dendrítico, como una consecuencia de la unidad litológica; incluyendo tanto la roca quemada como la roca no afectada por la calcinación.

Los caños son de curso intermitente, presentándose en los principales (Planeta, Colorado y Baqueta) un notable flujo; en los dos primeros se observan depósitos de travertino o tufas calcáreas, dispuestas escalonadamente, a lo largo de todo cauce, las cuales permiten la formación de lagunas.

En general, el drenaje está correlacionado principalmente con la resistencia, la permeabilidad y la erosión de los estratos de roca existentes, siendo éste de tipo dendrítico, de moderada densidad y en su mayor parte tipo estacional.

1.8. GEOLOGÍA REGIONAL

Las formaciones geológicas Guasare, Marcelina y Misoa constituyen las formaciones tipo de la región en donde se encuentra ubicada la mina Paso Diablo y es el sinclinal de Manuelote en donde se ubican estas tres formaciones, que forman parte de unidades perteneciente al Paleoceno, siendo la formación Marcelina la que contiene los carbones que son económicamente explotables.

1.8.1. Formación Guasare.

El término Formación Río Guasare fue introducido originalmente por Garner (1926), para designar un conjunto de calizas, areniscas y lutitas que aflora en el río Guasare, estado Zulia. De edad Paleoceno, esta es la formación antigua presente en la Cuenca Carbonífera del Guasare.

Localidad tipo: Margen sur del río Guasare, a unos 4 km de El Carbón y 300 metros bajo la desembocadura del caño Colorado, en el límite norte del municipio Páez, estado Zulia.

Descripción litológica: en los afloramientos de los ríos Guasare, Socuy y Cachirí, la formación consiste en calizas pardo grisáceo a gris,

generalmente glauconíticas. Algunas capas son ricas en restos de Ostrea y Venezuela. Intercaladas con las calizas, se presentan lutitas y limolitas grises a parduscas y areniscas grises, calcáreas y glauconíticas.

Espesor: en la sección tipo, el espesor de la formación Guasare es de unos 120 m. En el río Cachimí es de 390 m, y en el río Socuy, de 370 m.

Extensión geográfica: los afloramientos de la Formación Guasare se presentan a lo largo de los contrafuertes de la Sierra de Perijá, desde el río Guasare, hasta el área sur del distrito Perijá. Aflora en la isla de Toas, y al lado oriental del lago de Maracaibo, se la encuentra en las cabeceras del río Misoa, extendiéndose por todo el subsuelo del lago.

Contactos: en la sierra de Perijá y la mayor parte de la plataforma de Maracaibo, la Formación Guasare yace concordantemente sobre la Formación Mito Juan. Al sureste del lago, yace sobre la Formación Colon. En el tope, el contacto es transicional con la Formación Marcelina en Perijá y costa occidental del lago. Hacia el este, al desaparecer Marcelina por erosión, el contacto pasa a ser discordante con la Formación Misoa.

1.8.2. Formación Marcelina.

El nombre de la Formación Marcelina fue introducido y publicado originalmente por Sutton (1946), para designar la unidad denominada por Garner (1926) Paquete de Carbón de La Rosa. Tal como fue descrita por Sutton, la formación equivale a la parte inferior de la Formación Paso Diablo tiene prioridad, ha sido poco usado en la literatura geológica, habiéndose generalizado en cambio el de Marcelina. Esta formación pertenece al Paleoceno.

Localidad tipo: Tiene su sección tipo en el río Guasare, desde el tope de una caliza maciza, 550 m aguas arriba de la desembocadura del caño Colorado, hasta la base de una unidad de areniscas gruesas y masivas, a 50 m bajo la boca del caño Santa rosa, también afluente del Guasare.

Descripción litológica: intercalación de areniscas, lutitas arenosas y capas de carbón. En la base de la unidad, las areniscas son macizas, gruesas, de color gris claro y localmente calcáreas. Más arriba se hacen delgadas, están intercaladas con lutitas de color gris y presentan planos de estratificación con mica y carbón. Las lutitas son de color gris oscuro a negro, con fractura concoidal o de lápices. Tanto en las areniscas como en las lutitas, se encuentran nódulos de areniscas y caliza arenosa de color gris azulado, de forma alargada y midiendo de 1.2 a 2.4 m de largo por 0.6 a 1.2 m de diámetro. El carbón es de tipo subbituminoso a bituminoso, y se presenta principalmente hacia la base de la formación en capas de 2 hasta 10 m de espesor.

Espesor: en la sección tipo, la formación Marcelina tiene alrededor de 610 m de espesor. En el río Socuy, el espesor es de unos 550 m indica 265 m en el subsuelo del campo Alturitas. Ruiz (*op. cit*) muestra un espesor de 550 m en sondeos de la mina Paso Diablo, al sur de la localidad tipo.

Extensión geográfica: los afloramientos de la Formación Marcelina abarcan una faja de unos 54 km de largo, por no más de 4 km de ancho, que va desde unos 3 km al norte del río Guasare, hasta la confluencia del caño Colorado con el río Palma, al sur.

Contactos: el contacto de la Formación Marcelina con la Formación Guasare infrayacente, es concordante y transicional. Hacia el sur del macizo de El Totumo, el contacto entre ambas formaciones se hace más difícil de determinar, al ir desapareciendo los rasgos característicos de cada una.

1.8.3. Formación Misoa.

Garner (1926) introdujo el nombre de la Formación Cerro Misoa, para designar una unidad compuesta de areniscas y lutitas intercaladas, la cual aflora en el cerro del mismo nombre. Esta formación pertenece al Eoceno.

Localidad Tipo: tiene su sección tipo aflorando a lo largo del río Misoa,

donde éste corta a través del flanco occidental de la Serranía de Trujillo.

Descripción litológica: las características de los sedimentos e la formación Misoa, dependen de su posición en la cuenca, del ambiente de sedimentación, de la distancia entre ellos y de la fuente de los mismos. Hacia el nordeste hay más lutitas y areniscas de grano fino, mientras que hacia el sur y sureste, el porcentaje de arena aumenta al 80 y 90% cantidades, en toda la sección y hacia el este, en la sierra, algunas capas de caliza en la parte- inferior. En el área del lago se encuentran capas delgadas de caliza, en la parte inferior.

Extensión geográfica: la formación Misoa se reconoce en el subsuelo del lago de Maracaibo y al oeste del mismo, desde el campo Mara a Alturitas, al suroeste se extiende hacia el campo de Tarra, donde se relaciona lateralmente con la formación Mirador. En la superficie se presenta en una extensa faja, alrededor del este del lago, hasta el macizo Avispa, en Mérida Septentrional.

Contactos: en su tope, la formación Misoa está en contacto concordante con la Formación Paují; el contacto puede ser abrupto o transicional. Hacia el este, se presentas a veces un intervalo glauconítico (formación o Miembro Caús) en el límite formacional. En la región, la base de la formación Misoa, en términos generales, se define como un cambio, en sentido descendente, a las lutitas de la Formación Trujillo; el contacto no se ha delimitado en detalle, debido a la frecuente presencia de areniscas de gran espesor en la Formación Trujillo. En el subsuelo del lago de Maracaibo, la unidad suprayace discordantemente a las formaciones Guasare o Marcelina.

1.9. GEOLOGÍA LOCAL

La formación Marcelina esta conformada entre 25 y 30 mantos, entre los cuales se distinguen nueve grupos. El Pit o fosa Baqueta, explotado

actualmente, contiene 17 mantos de carbón, del 4Ø al 8I, ambos inclusive, cuyos espesores suman aproximadamente 35 metros y están contenidos en una columna estratigráfica de aproximadamente 200 metros. Los carbones del grupo 9 y superiores afloran al este de un corredor de falla, fuera del bloque a ser explotado.

La figura 1.3, muestra una columna estratigráfica tipo de la mina Paso Diablo.

La información geológica recopilada para el área de Baqueta, proviene de las observaciones de campo en afloramientos, en plataformas, vías y caños, y por perforaciones realizadas. La orientación de las capas de carbón es de N10°E con buzamiento entre 10 y 18° al este. El bloque explotado está delimitado por:

Límite sur: falla normal de Baqueta, de rumbo este-oeste y buzamiento alto al sur (Quebrada Baqueta).

Límite este: esta definido por el corredor falla; éste es un sistema formado por dos fallas inversas que atraviesan el depósito de norte a sur.

Límite oeste: determinado por la línea de afloramiento del manto 4Ø y/o la relación estéril / mena del manto en cuestión (5.5:1).

Límite norte: definido por los criterios de minería y la continuidad de los mantos.

En Paso Diablo existe un sistema de fallas subparalelas de rumbo N 45° O, espaciadas entre 60 y 160 m; en el área de Baqueta el espaciamiento pareciera ser mayor, esto debido no tanto a una simplificación de la tectónica, sino a la poca información que se tiene del área.

1.10. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Toda el área del Pit, se ve limitada por el Este por un sistema de fallas inversas “Corredor de Falla”, de rumbo predominante N-S y de buzamiento 68°W, la falla principal se la denomina COR4 con salto de hasta 50 metros.

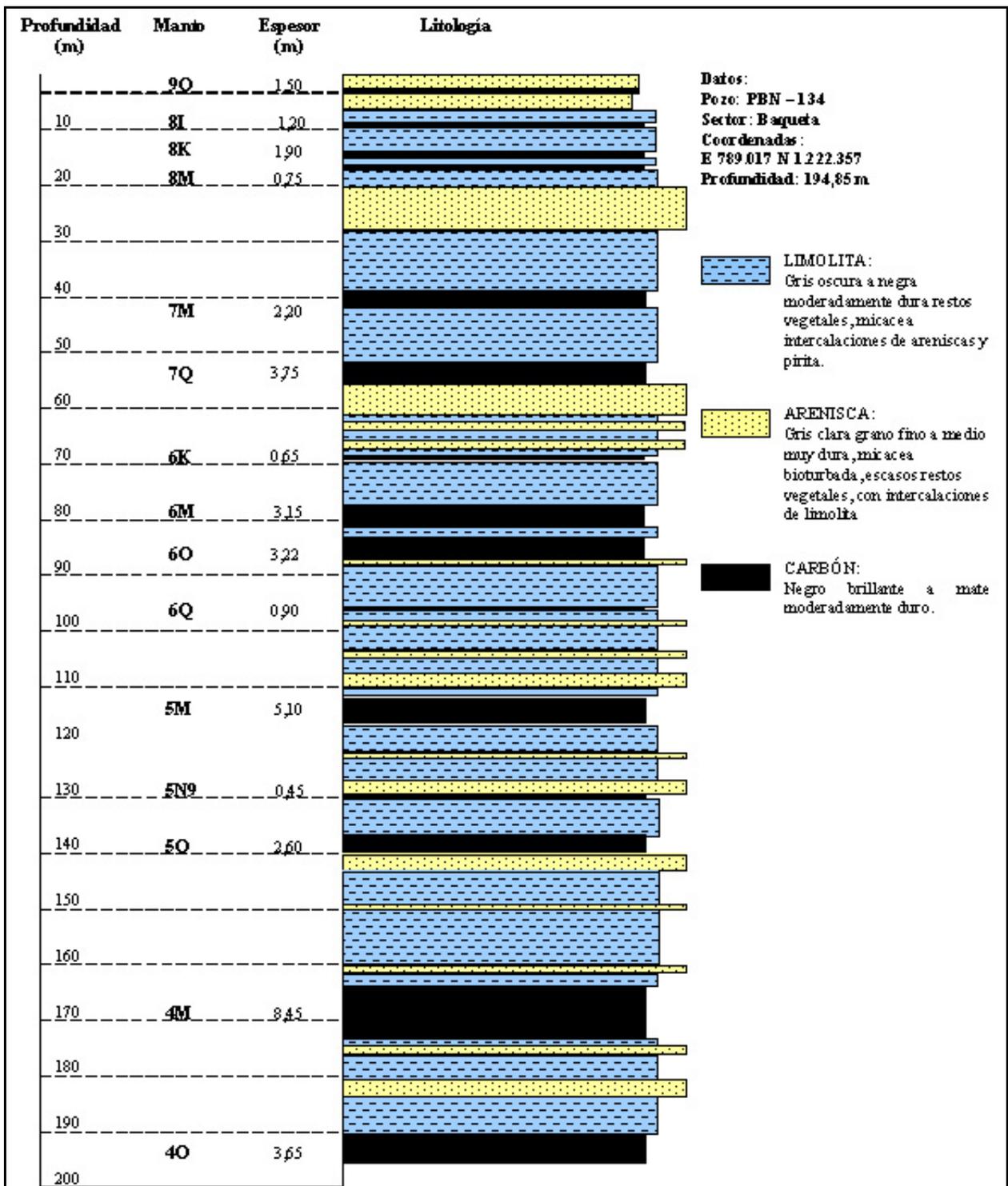


Figura 1.3. Columna estratigráfica tipo de la Mina Paso Diablo.

Específicamente en Baqueta, existen fallas normales e inversas con rumbos N–S y N45W y de buzamiento de 45°E y W, siendo algunas verticales. Estas fallas, reciben denominaciones como: A, D, J, B y O.

En cuanto al área de Transición, existen numerosas fallas inversas de rumbos NE, NW y EW, con buzamientos altos de 75° a 85° mayormente hacia el Sur, con saltos desde 2 metros a 52 metros, con denominaciones: PCH1, PCH2, PCH3, PCH4, PCH5, a excepción de la Falla PORKCHOP, la cual además de ser una falla inversa es cabalgante, de buzamientos bajos de 28°, saltos pequeños de 2 – 14 metros, localmente de 25 metros. Esta falla tiene la particularidad de que su plano de falla, asemeja a una “cuchara”, es decir, su superficie de falla forma un sinclinal cuyo eje axial tiene dirección N35°W con un plunge de 14° – 25 ° al SE. La Figura 1.4 muestra una sección tipo de la Mina Paso Diablo.

1.11. RECURSOS GEOLÓGICOS Y RESERVAS

Los recursos geológicos presentes en la cuenca Carbonífera del Guasare son de un total de 6803 millones de toneladas, mientras que las reservas están cuantificadas en 1021 millones de toneladas. La figura 1.5 y 1.6 muestran respectivamente, la cantidad de reservas de mineral de carbón con los que cuenta la cuenca carbonífera del Guasare y la cantidad de recursos de mineral de carbón presentes en Venezuela.

Las reservas son evaluadas con el programa Minescape de Mincom, basados en el modelo geológico revisado y actualizado por el personal de la empresa Washington Group y Carbones del Guasare. Para calcular las reservas se consideran 19 mantos de carbón pertenecientes a la formación Marcelina y debido a la compra de maquinaria especializada se puede atacar mantos que tengan un espesor mínimo de 50 cm.

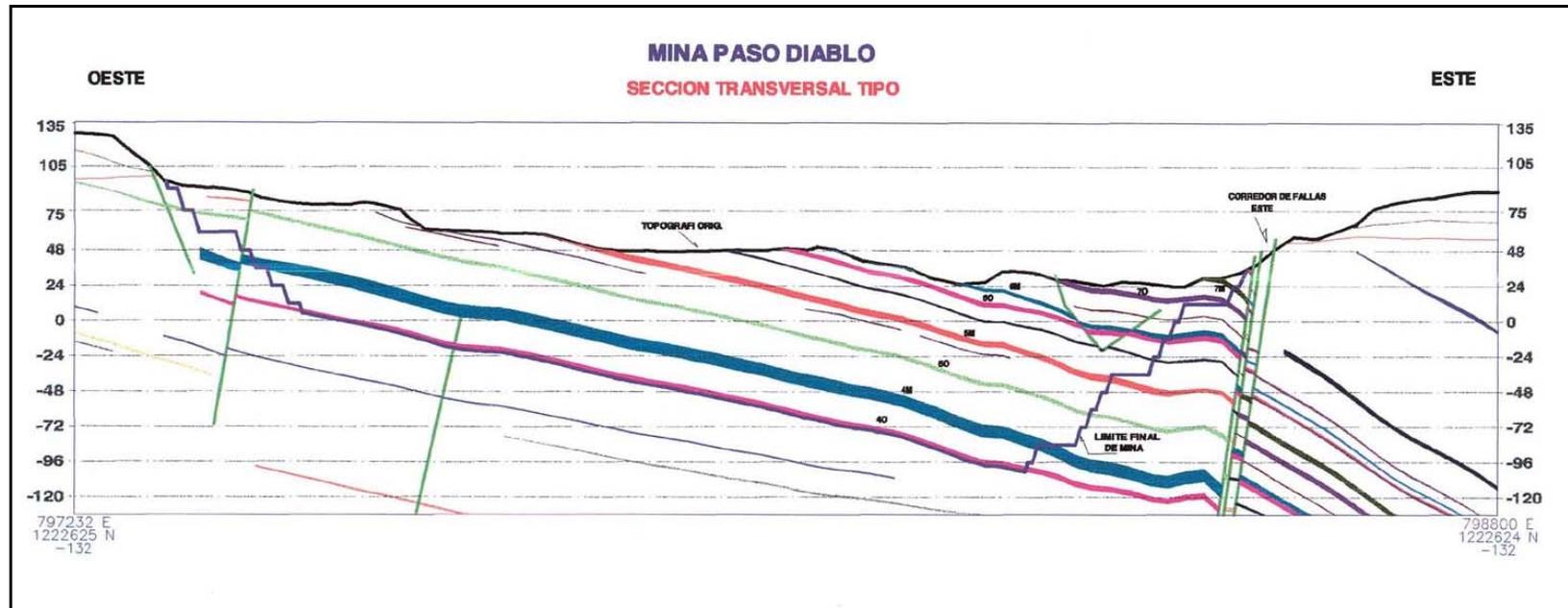


Figura 1.4. Sección Tipo de la Mina Paso Diablo.

El método de evaluación se basa en los cálculos de reservas por bloques de explotación para cada nivel de trabajo. Cada bloque está limitado por dimensiones específicas que oscilan entre 200 y 250 m de ancho y alturas variables entre 4 m como mínimo y un máximo de 15 m, la extensión lateral del bloque viene dado por la intersección de las trazas de los mantos en cada nivel evaluado. Esta metodología permite tener una información más clara sobre el material contenido en cada bloque con una mejor definición de la geometría existente, lo que permite la elaboración de una secuencia de explotación considerando asignaciones óptimas de las diferentes unidades de carga en los posibles frentes.

Las reservas totales en el área norte del depósito Paso Diablo son de 135 millones de toneladas a una humedad de 35%. Todo el tonelaje está reportado sobre la base de una densidad relativa estandarizada a 3.5% de humedad. Existe una pequeña diferencia de 0.06% entre las reservas reportadas por el modelo geológico y las reportadas por la base de datos de minería, esto es debido al tipo de interpolador usado en cada caso. La comparación de las reservas es la siguiente:

Modelo Geológico: 130 Millones de toneladas (a 3.5% Humedad).

Base de Datos de Minería: 130.078 Millones de toneladas (a 3.5% Humedad).

Las reservas y sus calidades asociadas por manto se presentan en la Tabla 1.2. Las reservas han sido divididas en cuatro bloques principales con el propósito de hacer un análisis rápido. Estas cuatro áreas son:

1. Baqueta– la fosa actual hasta la pared final alta.
2. Baqueta Norte– el área inmediatamente al norte de la actual mina Maqueta, la cual ha sido previamente desarrollada en 1999.
3. Cerro Baqueta (Pork Chop– Hill) el área entre la actual mina Baqueta y la anterior mina Paso diablo.
4. Área Norte – el área al extremo norte de las reservas, al norte de Baqueta Norte y limitada por el banqueo de mina.

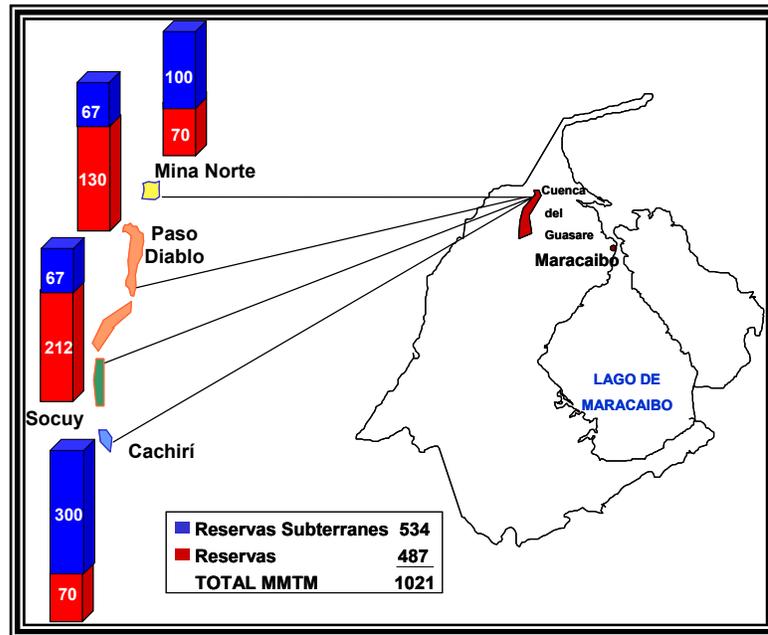


Figura 1.5. Reservas de mineral de carbón de la Cuenca Carbonífera del Guasare.

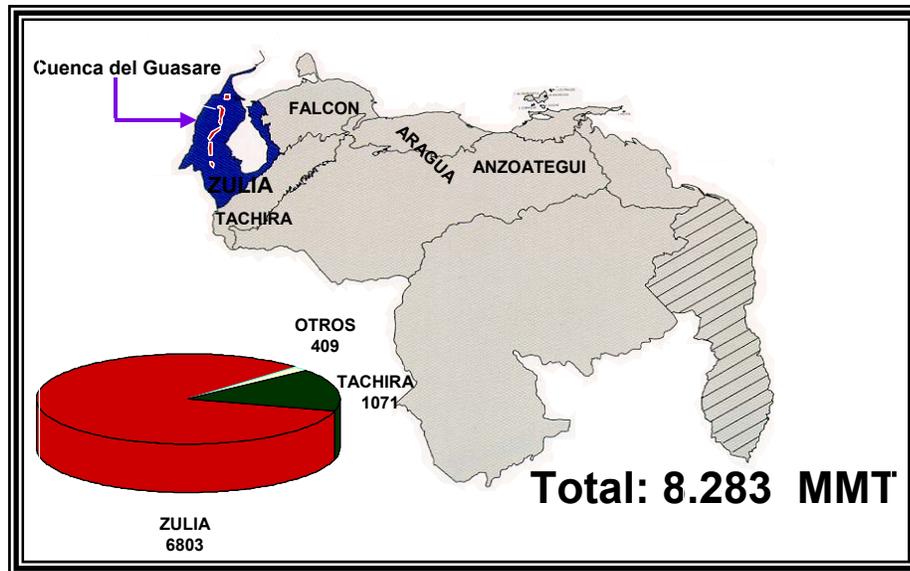


Figura 1.6. Recursos Geológicos de mineral de carbón presentes en Venezuela.

1.11.1. Reservas ROM.

Estas reservas ROM (Reserves Out Mine) son aquellas reservas que son minadas, es decir, son aquellas que permanecen después de realizar el proceso minero. Para lo cual es necesario tomar ciertas consideraciones como la pérdida y dilución, y el porcentaje de recuperación del manto de carbón.

En la tabla 1.2 se muestra la calidad y reservas por mantos de carbón de la mina Paso Diablo. Partiendo de estos valores se pueden determinar las reservas ROM.

| Manto | CARBÓN Toneladas ('000) @ 3,5 % Humedad | Gravedad Especifica (Ton/mcb) | Poder Calorico (kcal/kg) | Cenizas % | Humedad Inherente % | Azufre % |
|--------------|---|-------------------------------------|--------------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| S11M | 31,1 | 1,26 | 7687 | 3,46 | 6,01 | 0,37 |
| S10M | 65,4 | 1,28 | 7499 | 5,54 | 4,57 | 0,56 |
| S9G | 58,3 | 1,26 | 7698 | 3,30 | 505,00 | 0,33 |
| S9K | 72,8 | 1,25 | 7950 | 1,75 | 5,78 | 0,33 |
| S9O | 29,1 | 1,28 | 7454 | 6,27 | 3,37 | 0,64 |
| S9Q | 412,3 | 1,28 | 7682 | 5,82 | 2,23 | 1,68 |
| S8I | 898,0 | 1,26 | 7791 | 3,82 | 2,97 | 0,82 |
| S8K | 1227,6 | 1,28 | 7608 | 5,91 | 2,76 | 1,24 |
| S8KM | 25,4 | 1,26 | 7998 | 3,70 | 3,43 | 0,82 |
| S8M | 789,4 | 1,31 | 7331 | 9,16 | 2,72 | 0,92 |
| S7MI | 1410,9 | 1,29 | 7483 | 7,73 | 2,81 | 0,77 |
| S7M | 784,1 | 1,25 | 7951 | 2,35 | 2,80 | 0,71 |
| S7M2 | 1638,8 | 1,28 | 7592 | 6,10 | 3,02 | 0,96 |
| S7O | 6498,8 | 1,26 | 7967 | 2,38 | 2,91 | 0,72 |
| S6K | 826,6 | 1,29 | 7324 | 8,96 | 3,11 | 1,86 |
| S6M | 6121,2 | 1,25 | 7959 | 2,59 | 2,82 | 0,87 |
| S6MO | 534,1 | 1,26 | 7812 | 3,07 | 2,08 | 0,79 |
| S6O | 6188,8 | 1,26 | 7882 | 3,92 | 2,73 | 0,88 |
| S6Q | 2287,3 | 1,36 | 6987 | 14,05 | 2,54 | 0,93 |
| S5MI | 3226,8 | 1,27 | 7834 | 4,83 | 2,06 | 1,02 |
| S5M | 6994,6 | 1,26 | 8006 | 2,70 | 2,49 | 0,92 |
| S5M2 | 965,4 | 1,26 | 7868 | 4,38 | 2,19 | 1,00 |
| S5N5 | 1048,4 | 1,27 | 7773 | 5,72 | 2,31 | 0,88 |
| S5N7 | 242,3 | 1,31 | 7859 | 9,76 | 2,97 | 0,80 |
| S5N9 | 131,9 | 1,33 | 7088 | 12,41 | 2,92 | 0,92 |
| S5O | 9967,2 | 1,26 | 79997 | 3,03 | 2,43 | 0,59 |
| S5Q | 5,2 | 1,26 | 7600 | 7,00 | 3,00 | 0,60 |
| S4MI | 866,1 | 1,27 | 7836 | 4,44 | 2,55 | 0,73 |
| S4M | 35462,0 | 1,25 | 8102 | 2,27 | 2,05 | 0,62 |
| S4M2 | 239,7 | 1,27 | 7659 | 5,35 | 2,32 | 0,88 |
| S4O | 12973,6 | 1,26 | 8068 | 3,00 | 1,80 | 0,64 |
| TOTAL | 102.023,2 | 1,27 | 7963,00 | 3,38 | 2,32 | 0,74 |

Tabla 1.2. Reservas y Calidades por Manto de Carbón.

1.11.1.1. Pérdida y Dilución.

La pérdida, dilución y recuperación de Carbón planificada han sido desarrolladas sobre una base de manto por manto, tomando en consideración las experiencias locales con relación a: espesor del manto, tipo de estéril en contacto con el carbón y la ubicación del manto en la secuencia de minería. Se asume que existirá un constante mejoramiento en la recuperación del carbón basado en una práctica mejorada de minería con el nuevo tractor D9R y estándares de minería más altos que los actuales. Los factores de recuperación de los mantos 8M, 8K, 8I, 9Q han sido aumentados de 85% a 90%. Los parámetros utilizados para determinar las reservas ROM se presentan en la Tabla 1.3.

| Manto | Dilución (cm) | Perdida (cm) | Recuperación de Carbón (Porcentaje) 2000 |
|----------|---------------|--------------|--|
| 4O | 10 | 10 | 95 |
| 4M | 10 | 10 | 97 |
| 5O | 10 | 10 | 95 |
| 5M | 10 | 10 | 90 |
| 6O | 10 | 10 | 90 |
| 6M | 10 | 10 | 90 |
| 6MO | 10 | 10 | 95 |
| 7O | 10 | 10 | 95 |
| 7M | 5 | 15 | 90 |
| 8M | 5 | 15 | 90 |
| 8K | 5 | 15 | 90 |
| 8I | 5 | 15 | 90 |
| 9Q | 5 | 15 | 90 |
| 0,5- 1 m | 10 | 10 | 85 |

Tabla 1.3. Factores de Recuperación de Carbón, Pérdida y Dilución por Manto.

Para el área de Cerro Baqueta se ha agregado una pérdida de carbón global adicional de 5% debido a la dificultad que representa la presencia de

pequeños y grandes desplazamientos existentes en las fallas. Durante la explotación de Paso Diablo hubo algunas pérdidas de carbón como consecuencia del gran número de pequeñas fallas que allí se encontraban, se considera que en Cerro Baqueta las fallas existentes dificulten en gran grado el proceso de minería y que igualmente se produzcan pérdidas de carbón.

El espesor del material de la dilución se ha establecido en 10 cm como una regla general, excepto para los mantos 7M al 9Q inclusive, donde se ha usado 5 cm. Estos mantos frecuentemente tienen una calidad más baja por lo que se ha establecido que su pérdida total sea de 15 cm a fin de restringir la dilución a 5 cm. En general las pérdidas de carbón en las interfaces han sido establecidas en 10 cm. Las calidades de dilución utilizadas se muestran en la Tabla 1.4 La densidad esta dada a una humedad de 3.5 % después de secado al aire.

| Parámetros de Dilución | Calidad |
|------------------------|---------|
| Densidad | 2,26 |
| Ceniza % | 78,2 |
| Poder Calorico kcl/kg. | 1009 |
| Azufre % | 1,8 |

Tabla 1.4. Calidad de Dilución Asumida.

1.11.1.2. *Recuperación de Carbón.*

En las reservas del modelo minero se han incorporado Carbones de hasta 0.5 m de espesor. Esto le ha sumado unas reservas extras de 6.5 M de toneladas a las reservas de las áreas de la fosa Norte. Sin embargo, algunos de estos carbones delgados son de pobre calidad y en ocasiones su presencia es esporádica a lo largo del depósito. En el transcurso de la secuencia se tiene la opción de acomodar algo de este carbón como estéril dependiendo de la especificación global de calidad para el periodo.

La eficiente recuperación del carbón es de suma importancia para poder maximizar las reservas y mantener los requerimientos de remoción de estéril al mínimo. La extracción de carbón debe realizarse hasta un nivel de espesor tan delgado como sea práctico, teniendo en consideración las condiciones locales y el uso eficiente de los equipos modernos de minería. En las operaciones de minería en el ámbito mundial usualmente se extraen espesores de 15 a 30 cm. Sin embargo como en Paso Diablo el Carbón es un producto no lavado, los mantos muy delgados pueden llegar a tener relativamente una gran cantidad de dilución y llegar a ser no económicos para la mina. Existe muy poco tonelaje de carbón por debajo de los 0.5 m de espesor, de allí que 0.5 m fue seleccionado como el nivel mínimo de espesor para ser minado.

CAPÍTULO II. EXPLOTACIÓN MINA PASO DIABLO

2.1. ANTECEDENTES GENERALES

El descubrimiento de la cuenca carbonífera del Guasare se la atribuye al general, ingeniero, geólogo y geógrafo venezolano Wenceslao Briceño Méndez, quien en 1876, por encargo del gobierno del estado Zulia, éste fue contratado para investigar la supuesta existencia de un volcán, que desde 1830 pasó a ser un rumor entre los pobladores de El Mojan, población al norte de Maracaibo, en el estado Zulia. El rumor de la existencia de un volcán era debido a las emanaciones de fuego que ocurrían en la zona, producidas por el auto combustión del carbón.

Pero no fue sino hasta 1972, cuando el Ministerio de Minas e Hidrocarburos (hoy Ministerio de Energía y Minas, MEM), inicia los estudios geológicos de la zona y a partir de 1973 otorga concesiones por 70 mil hectáreas para la exploración de la Cuenca Carbonífera del Guasare. En 1978, se crea Carbones del Zulia, C.A. (CARBOZULIA), filial de la

Corporación para el Desarrollo de la Región Zuliana (CORPOZULIA) y el Fondo de Inversiones de Venezuela (FIV).

El 25 de abril de 1986, por decisión del Ejecutivo Nacional, Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA), adquiere las acciones que CORPOZULIA y el FIV tenían en CARBOZULIA y se firma el convenio de arrendamiento a PDVSA de las concesiones otorgadas a la corporación zuliana en 1973, mediante el compromiso del pago de una compensación de 10% del valor F.O.B. de las exportaciones de carbón. De esta manera nace Carbones del Zulia, S.A. (CARBOZULIA) filial de PDVSA. Para septiembre de 1987, se inicia la producción de carbón con la finalidad de dar a conocer el mineral en los mercados internacionales, bajo un esquema de producción anual de 500 mil toneladas, y el 22 de noviembre del mismo año se inician las ventas al exterior.

Tras un convenio de integración, el cual para la fecha estuvo conformado por CARBOZULIA y A.A ANTILLES COAL N.V., consorcio internacional que líderizaron AGIPCOAL, subsidiaria de la empresa italiana ENI y ACC VENEZUELA, perteneciente a la firma ATLANTIC RICHFIELDS, afincada en los Estados Unidos de Norteamérica, el día 2 de Junio de 1988 se estableció la creación de la empresa operadora Carbones del Guasare, S.A., que se dedicaría a la exploración y explotación del yacimiento "Paso Diablo", ubicado en la zona del Guasare, distrito Mara, al norte del Estado Zulia. Estas actividades incluyen minería, transporte y comercialización del carbón extraído en la mina, para ese tiempo la producción se planteo para 1.5 millones de toneladas métricas.

En el año 1989, se inician las operaciones de la figura Guasare Coal International N.V., desde cuya sede, en la ciudad de Ámsterdam, Holanda, se encarga de la comercialización a escala mundial del carbón proveniente del Guasare.

A partir del 1° de enero de 1990, Carbones del Guasare, S.A., da un giro comercial al aumentar su producción hasta 2.5 millones de toneladas,

momento en el cual se inicia la exoneración del Impuesto Sobre la Renta otorgado por el Ejecutivo Nacional por un período de 5 años.

Tres años más tarde, Carbones del Guasare, S.A., llega a ser una empresa mixta cuyos socios principales son CARBOZULIA, filial de PDVSA en un 49%, la empresa AGIPCOAL de Italia con un 48% y por SOFIMARA del Banco de Maracaibo con un 3%. Para ese año se exportó la cantidad de 5.6 millones de toneladas métricas de carbón.

Desde 1999 la empresa Carbones del Guasare firmó un contrato por 5 años con la empresa Morrison Knudsen (MK), radicada en los Estados Unidos con más de 80 años de experiencia la minería del carbón, asumiendo la misma la responsabilidad sobre la Gerencia de Operaciones de Mina, con lo cual se busca implementar mejoras en los procesos, reducir los costos y aumentar la eficiencia operacional de la mina. Actualmente la empresa Morrison Knudsen (MK) pasó a formar parte de la empresa Washington Group radicada también en los Estados Unidos.

2.2. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

En la mina Paso Diablo se realiza la explotación del carbón a cielo abierto, el Pit ó Tajo que actualmente se encuentra en explotación es denominado Baqueta, existe una serie de parámetros de diseño del Pit que han sido preestablecidos y se mencionan a continuación:

- Altura de Banco, si se trabaja en niveles superiores a los 60 metros sobre el nivel del mar, los bancos toman una altura de 15 metros, por debajo del nivel 60 los bancos toman una altura de 12 metros, esta convención se implantó en 1998 debido a que un estudio de investigación determinó que la altura de 12 metros para los bancos mejoraba el rendimiento de las palas hidráulicas y reducía en un 20 % la distancia de empuje de los tractores.

- Actualmente en la mina Paso Diablo se trabaja con paneles de 120 m de ancho, iniciándose desde la pared sur del Pit Baqueta hasta la zona norte del mismo Pit. Los paneles están contenidos en tres áreas importantes denominadas, Baqueta Sur (Coordenadas: N1221120 hasta N1221960), Baqueta Centro (Coordenadas: N1221960 hasta N1222800) y Baqueta Norte (Coordenadas: N1222800 hasta N1223640, actualmente no se encuentra en explotación). Las áreas están delimitadas en sus coordenadas este desde E797000 hasta E799000. En la Figura 2.1 se observa los paneles de trabajo. Estas áreas de trabajo contiene siete (7) paneles, lo cual le da un ancho de 840 metros a cada área.
- Ángulos de excavación en taludes: pared de avance este y norte 12 grados, pared oeste (low wall) 30 grados, pared sur 35 grados, pared final (high wall) 34 grados.
- Ángulo general de escombreras externas 17 grados.
- Ángulo general de escombreras internas 24 grados.
- Altura de terrazas de escombreras 20 metros.
- Ancho de terrazas de escombreras 40 metros.
- Pendiente de piso en terrazas y bancos (pie a cresta) 2%.
- Gradiente de rampas 8%.
- Ancho de mínimo de vías 27 metros.
- Ángulo del frente del banco 2:1.
- Talud de avance paralelo al rumbo 10 grados.
- Talud de trabajo perpendicular al rumbo 12 grados.
- Esponjamiento de escombreras 40%.

Las excavaciones se realizan a favor de la dirección del buzamiento de los planos de estratificación, de esta forma se puede garantizar más estabilidad del frente en el cual se trabaje.

La relación de remoción o relación estéril– mena es de 5.5:1, es decir, 5.5 metros cúbicos banco de estéril por tonelada de estéril. La secuencia de explotación de los bloques es de la pared alta hacia la pared baja (desde el este hacia el oeste). La producción de carbón para el año 2001 se estableció en 6,800,000 toneladas al año y 37,413,000 metros cúbicos bancos de estéril. El perfil de acarreo para el año 2001 se estimó en 3200 metros aproximadamente, distribuidos así: 1614 metros en asenso, 1386 metros en plano y 200 metros bajando, con una velocidad promedio de acarreo de 19 kph y retorno de 42 kph, con una resistencia al rodamiento de 3%, lo que implica un mantenimiento aproximado de 86,400 m², sin considerar vías perimetrales y de servicio.

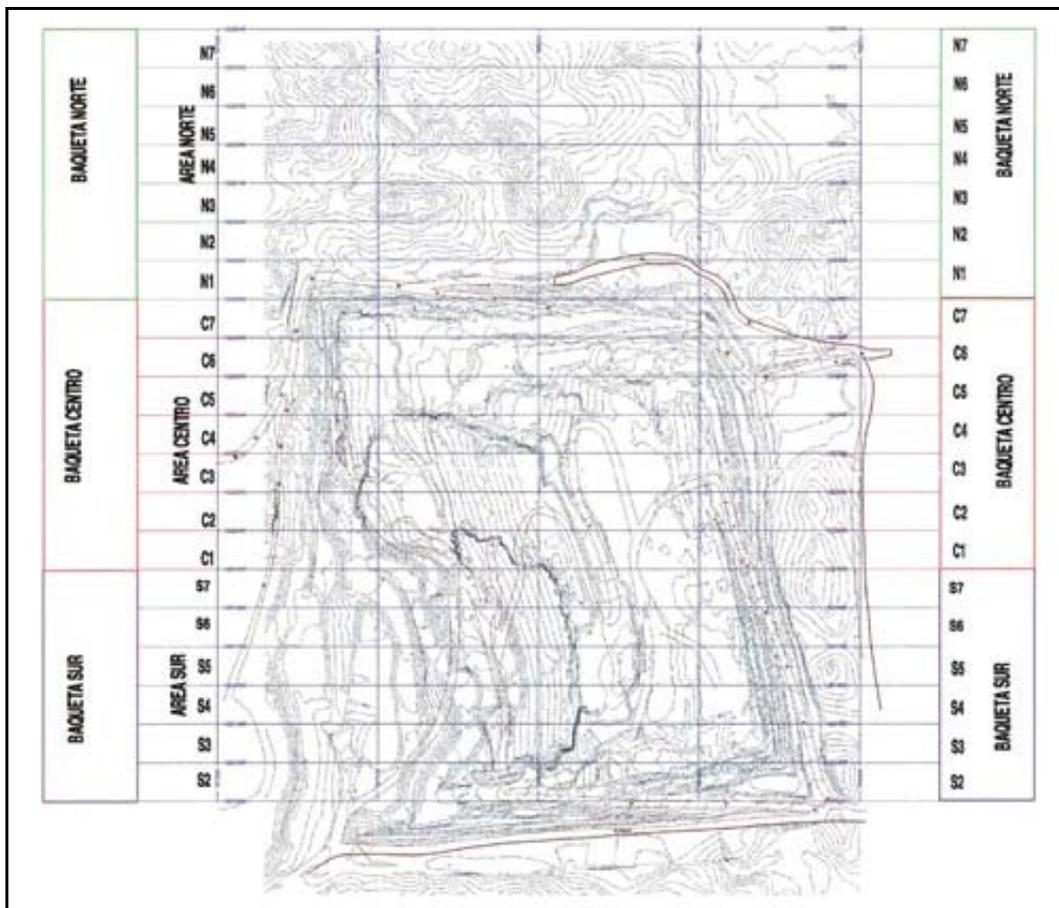


Figura 2.1. Paneles de Trabajo empleados en la planificación de la mina.

2.2.1. Flota de Equipos.

Para la ejecución de la explotación del carbón la mina cuenta con una flota de equipos de alta envergadura, que se distribuyen las actividades para poder lograr extraer el carbón de la forma más eficiente, económica y segura posible, sin descuidar la variable ambiental. A continuación se muestra una serie de tablas donde se estampa cada una de las flotas con la que cuenta la empresa y sus características más predominantes.

| Cantidad | Marca | Modelo | Capacidad |
|----------|--|----------|-----------|
| 31 | Camión Roquero Caterpillar | Cat-789B | 177 ton |
| 6 | Camión Roquero Caterpillar (Carboneros) | Cat-789B | 170 ton |
| 1 | Camión Roquero Dresser Haulpak | 830E | 220 ton |
| 2 | Camión Roquero Liebherr | T262 | 220 ton |

Tabla 2.1. Flota de Acarreo.

| Cantidad | Marca | Modelo | Capacidad de Cucharón |
|----------|---------------------------|----------|-----------------------|
| 2 | Pala Eléctrica P&H * | XPA-2800 | 36 m ³ |
| 3 | Pala Hidráulica O&K | RH 200 | 23 m ³ |
| 1 | Pala Hidráulica Retro O&K | RH 200 | 23 m ³ |

Tabla 2.2. Flota de Palas.

(* Solo para remoción de estéril)

| Cantidad | Marca | Modelo | Diámetro |
|----------|------------------|-------------|----------|
| 1 | Drilltech | D25K | 6¾ |
| 3 | Drilltech | D75K | 9⅞" |
| 1 | Ingersoll – Rand | DML 1900 XL | 9⅞" |

Tabla 2.3. Flota de Perforadoras.

| Cantidad | Marca | Modelo | Capacidad de Cucharón |
|----------|------------------------------|----------|---|
| 2 | Cargador Frontal Caterpillar | Cat-992 | 12 m ³ |
| 3 | Cargador Frontal Caterpillar | Cat-994 | (2)30 m ³ (1)16m ³ |
| 1 | Cargador Frontal Caterpillar | Cat-966F | 5 m ³ |
| 1 | Cargador Frontal Caterpillar | Cat-988F | 6.1 m ³ |

Tabla 2.4. Flota de Cargadores.

| Cantidad | Marca | Modelo |
|----------|-------------------------------|--------|
| 3 | Tractor de Orugas Caterpillar | D9R |
| 8 | Tractor de Orugas Caterpillar | D10N |
| 2 | Tractor de Orugas Caterpillar | D11N |
| 3 | Tractor de Orugas Caterpillar | D11R |

Tabla 2.5. Flota de Tractores de Orugas.

| Cantidad | Marca | Modelo |
|----------|----------------------------|---------|
| 4 | Motoniveladora Caterpillar | Cat-16G |
| 1 | Motoniveladora Caterpillar | Cat-16H |

Tabla 2.6. Flota de Motoniveladoras.

| Cantidad | Marca | Modelo |
|----------|-------------------------|----------|
| 3 | Ballena Equipo de Riego | Cat-773B |
| 2 | Ballena Equipo de Riego | Cat-777D |

Tabla 2.7. Flota de Equipos de Riego.

| Cantidad | Marca | Modelo |
|----------|----------------------------------|----------|
| 1 | Tractor de Ruedas Caterpillar | Cat-690D |
| 1 | Tractor de Ruedas Caterpillar | Cat-690C |

Tabla 2.8. Flota de Tractores de Ruedas (TIGER).

2.3. OPERACIONES BÁSICAS

Dentro de las actividades mineras (ver Figura 2.2) que se realizan en la mina Paso Diablo hay que destacar las siguientes: deforestación de la capa vegetal, perforación y voladura del estéril, transporte del estéril, extracción del carbón, trituración del carbón.

Las operaciones de mina que se realizan en Carbones del Guasare comienzan con la solicitud del permiso al Ministerio de Ambiente, para poder deforestar el área que se desea explotar.

Una vez que se obtiene es permiso se procede al corte y almacenamiento de los árboles que son inventariados (Inventario que es obligatorio dada las normativas que establece el Ministerio del Ambiente (MARNR)) por el departamento de Ambiente.

La deforestación consiste en la remoción de la capa vegetal que recubre la superficie en donde se ubica el manto de carbón a extraer, la misma es realizada con maquinaria de la empresa la cual generalmente esta constituida por tractores (buldózer), ya sea el D9R, D10N, ó D11R y la utilización de uno con respecto al otro, es directamente proporcional al tamaño de la vegetación que se desea retirar.

Después de realizada la deforestación de la capa vegetal, la misma es transportada a las escombreras de capa vegetal o directamente a los lugares que son objeto de recuperación ambiental.

El siguiente paso después de realizada la deforestación, es proceder a la extracción del carbón, para lo cual es necesario remover el estéril que

recubre el manto de carbón. Esta remoción se elabora por el método convencional de arranque, es decir, por perforación y voladura.

Para la ejecución de la perforación, en la mina se cuenta con perforadoras rotativas, que utilizan brocas de triconos de diámetro 9 $\frac{7}{8}$ de pulgada (251 mm). La carga de explosivos en los barrenos se realiza mediante camiones mezcladores de explosivos. Entre las mezclas realizadas por estos camiones conseguimos ANFO (Nitrato de Amonio (AN) y Fuel Oil (FO), usado en barrenos que no contengan agua), EMULSIÓN (Dispersiones de Soluciones oxidantes de agua en un Aceite Medio o emulsiones de “Agua en Aceite”, usada en barrenos con agua), y SUPER ANFO (“Heavy Anfo”, mezcla de Anfo y Emulsión, usado en barrenos con agua).

Una vez que se ha efectuado la voladura del estéril se procede a la carga y transporte del mismo. Para realizar la carga del estéril en la mina se cuenta con un grupo de palas eléctricas P&H e hidráulicas O&K. Para el transporte del estéril se cuenta con una flota de camiones roqueros, los cuales son dirigidos hacia las escombreras en donde es depositado el material volado.

En cuanto al manto de carbón que es destapado los tractores (buldózer), se responsabilizan del escarificado y apilamiento del mismo, para que posteriormente los cargadores frontales (Caterpillar 994) se encarguen de colmar los camiones roqueros (estos camiones son llamados carboneros debido a que se les modifico la tolva de manera tal que pudieran aumentar la capacidad de transporte). Dichos camiones roqueros transportan el carbón al área de trituración o al patio de remanejo, en donde se almacena el carbón dependiendo de su calidad, mientras que el carbón que es transportado al área de trituración (ubicada a 2 kilómetros aproximadamente del Pit) es sometido a un proceso de reducción de tamaño (un mínimo de 2 pulgadas) y almacenado por un grupo de apiladores que se encargan de separar el carbón dependiendo de la calidad del mismo.

El área de apilamiento del área de trituración tiene capacidad para almacenar 120.000 TM de carbón triturado en tres pilas de forma circular de 60.000 TM cada una. La pendiente natural mínima del terreno es de 1 % y la máxima de 1.6 %, las cuales se consideran suficientes para permitir el drenaje adecuado de las aguas de lluvia. Sobre el terreno natural se extendió y compactó una capa de carbón de aproximadamente 40 cm de espesor para mejorar la superficie de circulación de vehículos y maquinarias y evitar la contaminación del carbón depositado en las pilas. Las vías o áreas de circulación fueron diseñadas en función de la maniobra de gandolas tipo 3S-3 con un ancho mínimo de 15 metros. Entre las pilas se consideró una separación mínima de 20 metros libres, a máxima capacidad, para permitir la maniobra de la gandolas. Existen dos trituradoras, la 4005 (3000 toneladas por hora) y 4002 (1200 toneladas por hora) siendo las dos primarias, están conformadas por un molino de dientes; las trituradoras secundarias son molinos de rodillos que tienen una abertura aproximadamente de 2 pulgadas, el cual es el tamaño en que generalmente se comercializa el carbón. En cuanto a la operación de los apiladores, la misma esta prevista en forma alterna, de forma que no funcionara más de un apilador a un mismo tiempo.

Una vez que el carbón es almacenado y separado por calidades dentro del área de trituración, se procede a transportar el carbón al puerto de embarque ubicado en Santa Cruz de Mara (distanciado a 83 km de la mina), dicho traslado se realiza por medio de gandolas de 45 Toneladas métricas de capacidad, cuyo sistema de volqueo es lateral. Estas gandolas antes de ser trasladadas al puerto de embarque, deben ser sometidas a dos procesos muy importantes como lo son el enrasado, el enlonado y pesaje de las gandolas.

El Enrasado consiste en llevar al ras el carbón en la tolva de la gandola y se realiza por medio de la utilización de una pala, limpiando los bordes y centro de las bateas hasta unos 80 cm para evitar derrames en las vías y accidentes a vehículos y personas. El enlonado se realiza después del

Enrasado y se basa en la extensión de una lona hasta la parte posterior de la batea de la gandola, luego hacia los lados previendo que los mecates queden hacia fuera y luego se amarran fuertemente para evitar que caigan trozos de carbón en las vías, lo cual originan perdidas a la empresa en limpieza.

El pesaje de las gandalas se efectúa a la salida del enlonado en su recorrido hacia la alcabala de Carichuano. Se emplean dos (2) balanzas AMD Colonico con capacidad de 100 ton y apreciación de 200 Kg., se emplea una de las balanzas para tara (gandalas vacías), y otra para bruto (gandalas cargadas) aunque se pueden emplear independientemente en el caso de mantenimiento de una de ellas.

Luego que el carbón es transportado al puerto de embarque, este es almacenado nuevamente por apiladores con la finalidad de revisar las calidades que el comprador a especificado (humedad, poder calorífico, porcentaje de azufre, porcentaje de cenizas, etc.), como paso siguiente el carbón es trasladado a gabarras de 2000 toneladas de capacidad, dicho traslado es realizado por medio de cintas transportadoras.

Estas gabarras son transportadas posteriormente a donde se encuentra ubicada la estación de transferencia (Bulkwayuu), cuya función es transferir el carbón de las gabarras a los buques. Dichos buques son aquellos que el comprador a contratado para que se encarguen de transportar el carbón al sitio en donde se requiera el mismo.

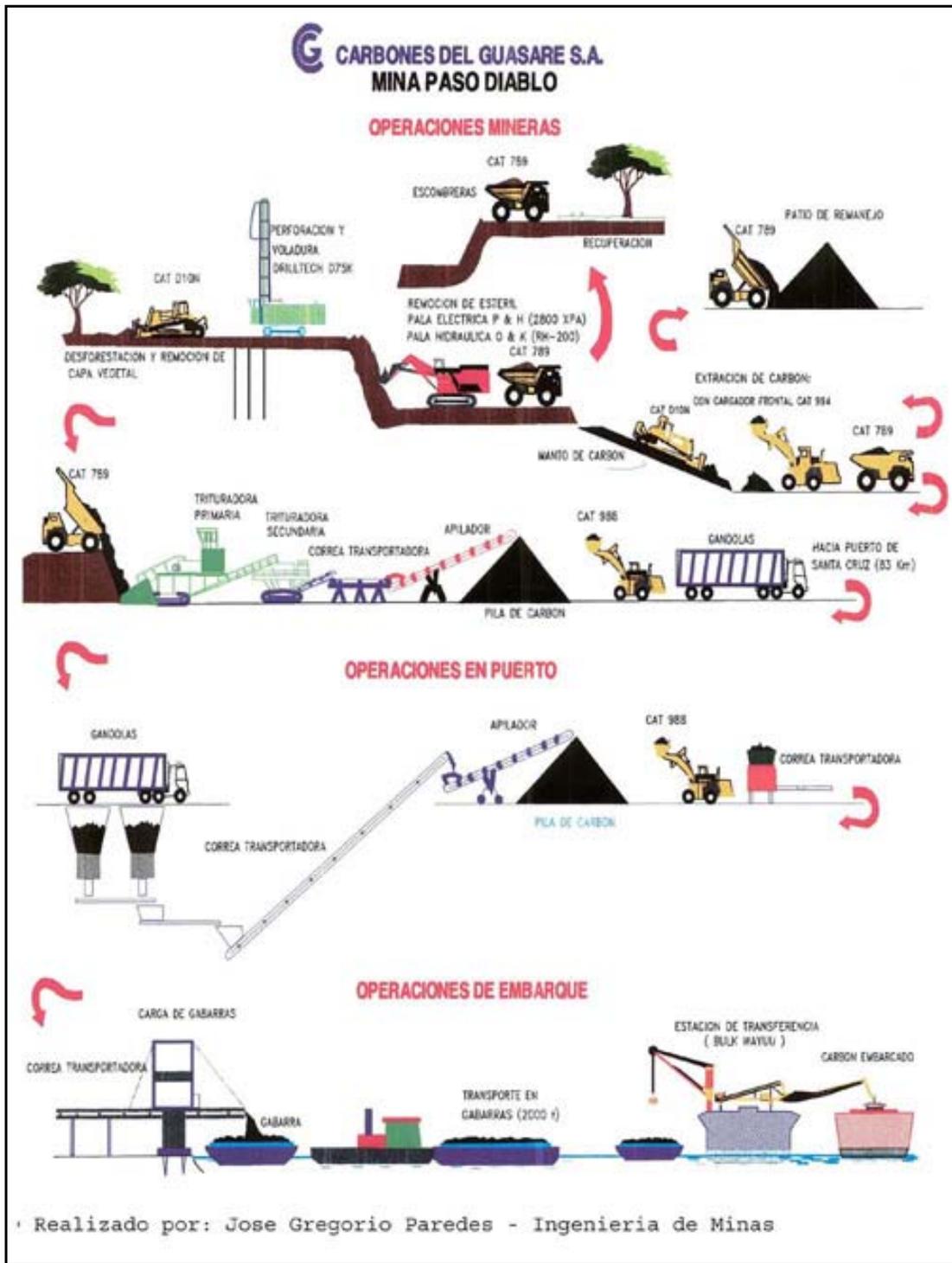


Figura 2.2. Diagrama de Operaciones Básicas de la Mina Paso Diablo.

CAPITULO III. DESCRIPCIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

3.1. GENERALIDADES

Las labores de perforación, son el inicio del ciclo de producción, de hecho influyen en la calidad de las voladuras y esta a su vez en la productividad de los equipos de carga. Por esto, la perforación es considerada como el primer paso de producción, por lo que un buen diseño y supervisión son altamente necesarios para lograr los resultados más idóneos.

Las voladuras son el paso a seguir luego de la perforación y su diseño es tan relevante como el de la perforación, debido a que una buena distribución de las cargas de explosivos garantizan que no se producirán excesivas proyecciones de material volado, voladuras secundarias, excesivas vibraciones en el terreno y en el caso del bajo manto del carbón; dilución del material de estéril con el carbón.

En la mina Paso Diablo existe un estándar de trabajo para la ejecución de las operaciones de perforación y voladura, las cuales son explicadas en los siguientes pasos:

1. Selección del área de trabajo de acuerdo a un plan preestablecido.
2. Establecer bermas de seguridad entre el área de perforación y el resto del área de producción para así delimitar la zona a perforar. Dichas bermas son construidas por los tractores de ruedas (Tiger) y el material que se emplea para su construcción es el material de estéril resultante de la limpieza de área, estas bermas de seguridad tienen una altura promedio de un (1) metro. Una vez creada la berma se coloca banderas de identificación.

3. Preparar acceso seguro y limpio para el tránsito de los equipos involucrados, tales como perforadoras, camiones de explosivos y vehículos livianos.
4. limpiar cara(s) de los taludes del frente de perforación mediante el uso de tractor, lo cual tiene como objetivo:
 - a. Evitar la pérdida de barrenos perforados sobre estéril suelto.
 - b. Perforar con retiro adecuado respecto a al cara del talud.
 - c. Evitar pérdida de barrenos de la primera fila al perfilar el talud.
5. Limpiar la(s) cara(s) del carbón adyacente, con la finalidad de:
 - a. Dar un retiro adecuado entre el área a volar y el carbón adyacente.
 - b. Evitar la pérdida de barrenos perforados muy cerca del carbón. Ya que podrían ser descartados para evitar volar muy cerca del carbón.
 - c. Evitar la pérdida de carbón (cuya traza quede cubierta por estéril por efectos de la voladura).
6. Nivelar terrazas de perforación empleando tractor de orugas. Limpiar posteriormente el área, empleando motoniveladoras. En el caso de nivelación de las cuñas inferiores se debe:
 - a. Elaborar plataformas horizontales con un ancho mínimo de ocho (8) metros, garantizando acceso amplio y seguro a los camiones de explosivos.
 - b. Iniciar siempre la perforación en la terraza de mayor altura y orden descendiente.
7. Pedir la colocación de cotas tanto del nivel de trabajo como la cota del nivel inferior, a fin de determinar la altura del banco.
8. Demarcar el patrón de perforación adecuado a la altura real del banco. Tener en cuenta además la norma de dejar una separación de veinte (20) metros entre un área a ser volada y el área inmediata perforada,

con el objetivo de evitar la rotura de barrenos por influencia de la voladura.

9. Realizar las perforaciones (ver figura 3.1).



Figura 3.1. Perforación de Barrenos.

10. Chequear profundidad de barrenos, para en caso de ser necesario repetir barrenos defectuosos antes de retirar la perforadora del frente, evitando así traslados innecesarios de última hora. Asimismo debe comunicársele al encargado del departamento de voladuras la culminación de la labor, para programar la subsiguiente voladura.
11. Retirar la perforadora del área y verificar que este dadas las condiciones de seguridad y acceso a los vehículos de explosivos.
12. Después de finalizada la perforación se procede al cebado de los barrenos para lo cual se utiliza el Búster.
13. Realizar la carga de los barrenos con el camión de los explosivos (ver figura 3.2), la empresa ORICA se encarga de poner el explosivo en los barrenos y de sellarlos con el detrito de la perforación.

14. Una vez que los barrenos han sido cargados con los explosivos y sellados, se procede al amarre o conexión de superficie de los barrenos, para lo cual se utilizan retardos de superficie (generalmente 17 ms, 42 ms, 100 ms), el amarre se realiza de forma tal se inicie por la cara libre del bloque a volar, de no existir cara libre se inicia el disparo de este a oeste (a favor del buzamiento de los mantos).



Figura 3.2. Carga de Barrenos con el camión de explosivos (Camaleón).

15. A la hora de realizar el disparo es conveniente asegurarse de que todas las vías de acceso al área de la voladura estén custodiadas para evitar el ingreso a la zona y ocurra un accidente, también es imperativo que se alejen toda la maquinaria que se encuentre cercana al área debido a que podría ser alcanzada por las proyecciones del material volado. Además se debe verificar que no se encuentre personal trabajando en zonas en donde la onda de choque pueda alcanzarles.
16. Posterior a la voladura: se deben limpiar las vías que hallan sido alcanzadas por el material volado, producto de la proyección del

mismo. Hacer corte con tractor, con el objeto de determinar con certeza el límite del banco volado. Colocar banderas en la cresta definida con el tractor a fin de indicar hasta donde deberá reperfilarse la cara del talud, una vez que la totalidad del estéril volado haya sido removido. De la correcta ejecución de este último dependerá asegurar lo siguiente: cara libre adecuada para la próxima voladura, evitar la pérdida de horas de tractor dando cara libre a taludes indefinidos o mal acabados y la pérdida de barrenos perforados en bancos ya volados.

3.2. EQUIPOS DE PERFORACIÓN

Existen dos sistemas de perforación utilizados en las actividades mineras, los cuales son el sistema por rotopercusión y el sistema por rotación, en la mina Paso Diablo se emplea el sistema por rotación. El cual es utilizado por un grupo de cuatro (4) perforadoras (ver tabla 2.3, la perforadora Drilltech D25K esta desincorporada de las actividades de perforación), estas trabajan con brocas de triconos con un diámetro de $9 \frac{7}{8}$ de pulgadas, constituidas por insertos o botones de acero al tungsteno (ver figura 3.3).

La acción de perforación se consigue por medio de efecto rotativo el cual logra fracturar la roca por trituración y arrastre del detritus de perforación con la utilización de brocas tricónicas. La unidad de rotación, se encuentra instalada en la parte superior de la torre de perforación sobre las deslizaderas. El motor de la unidad de rotación, es accionado hidráulicamente. La velocidad de rotación, esta relacionada con la dureza de la roca, en el caso de esta mina que se encuentran rocas sedimentarias medianamente duras, se manejan velocidades entre 75 y 130 RPM, es muy importante, la experiencia del perforador, ya que debe manejar el criterio de dureza de roca (vs.) velocidad de rotación, a mayor dureza de roca, menor

velocidad por consiguiente a menor dureza mayor dureza, con esto se consigue mejorar la tasa (rata) de penetración y prolongar la vida de la broca.

El barrido de Detritus: En perforación el barrido se le conoce como el proceso de expulsión del detritus de la perforación desde el fondo del barreno o lugar donde se produce hasta la superficie. Esta operación debe ser continua para asegurar una buena refrigeración de la broca con la que se perfora y un proceso de perforación fluido; esto se consigue inyectando aire a través de los tubos de perforación hasta la broca, el transporte del detritus se efectúa por la corona anular entre las paredes del barreno y las barras o tubos de perforación, el aire inyectado sale por orificios llamados toberas (diámetro de $\frac{5}{8}$ y $\frac{3}{8}$ de pulgadas), las cuales son reemplazables, y su elección esta relacionada con el diámetro de la broca y las necesidades o requerimientos para lograr un eficaz transporte del detritus. Además de inyectar aire para refrigerar la broca, se utiliza agua para poder controlar el exceso de particulado atmosférico en el área de perforación.

Presión de Trabajo: Es la presión de aire que llega a la broca, y su función es la de expulsar el detritus de perforación y la misma no debe ser menor a 30 lb/in^2 , ya que con presiones por debajo de este valor no se logra expulsar el detritus, provocando el atascamiento y recalentamiento de los rodamientos de la broca produciendo su rotura.

Velocidad de rotación: las velocidades de rotación comúnmente usadas, están entre las 50 RPM y 130 RPM, usando velocidades por debajo de 50 RPM, solo en proceso de emboquillaje del barreno. El supervisor de perforación debe recordarle frecuentemente a los perforadores el control sobre la velocidad de rotación indicándoles que esta debe incrementarse o disminuirse con la dureza de la roca.

La fuerza de avance o Pull –Down: depende directamente de la resistencia a la compresión de la roca. La litología presente en la mina presenta un valor medio de la resistencia a la compresión de 365.05 Kg/cm^2

(5000 lb/in²), por consiguiente, para que exista rotura debe tenerse valores de fuerza de empuje por encima de este valor.



Figura 3.3. Perforadora Drilltech D75K.

En cuanto a las brocas utilizadas por las perforadoras, como ya se mencionó son brocas de triconos con insertos o botones de acero al tungsteno. Estas brocas consisten en tres miembros con forma cónica que rotan sobre rodamientos de rodillos y de bolas. Sobre estos conos se incorporan unas especies de dientes cortantes (insertos), diseñados dependiendo de la dureza y la resistencia a la compresión del material a perforar. Las marcas de brocas que son más utilizadas en la mina Paso Diablo son la Baker Hughes con una vida útil promedio de 8,000 metros lineales y la Sandvick cuya vida útil promedio es de 10,000 metros lineales.

En la figura 3.4 se muestran la broca Baker Hughes y sus principales componentes.

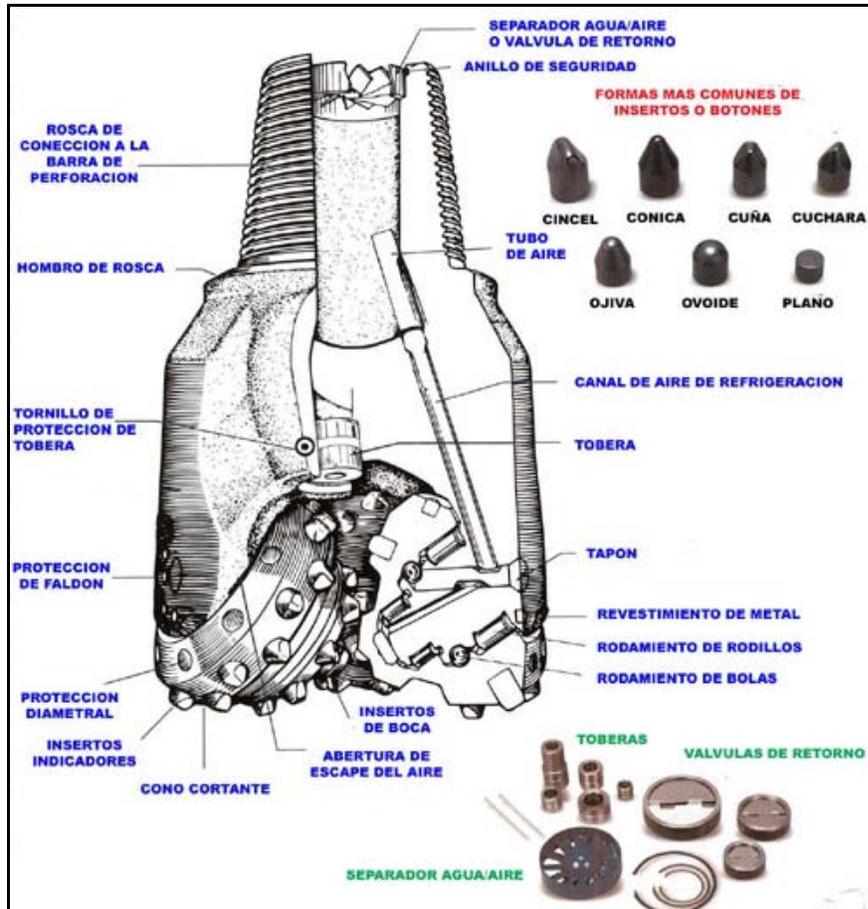


Figura 3.4. Broca Baker Hughes y sus componentes.

Las brocas Baker Hughes serie 50 y serie 60 son las que se utilizan en la mina, la primera de serie tiene su aplicación en areniscas con dureza media, calizas suaves y formaciones aluviales, mientras que la segunda serie puede trabajar en areniscas con dureza media a dura, dolomitas y calizas. La serie 50 trabaja con revoluciones mínimas de 50 RPM y máximas de 150 RPM; la serie 60 trabaja con revoluciones mínimas de 50 RPM y máximas de 120 RPM. La figura 3.5 muestra las dos series de brocas Baker Hughes que se emplean en la mina Paso Diablo.

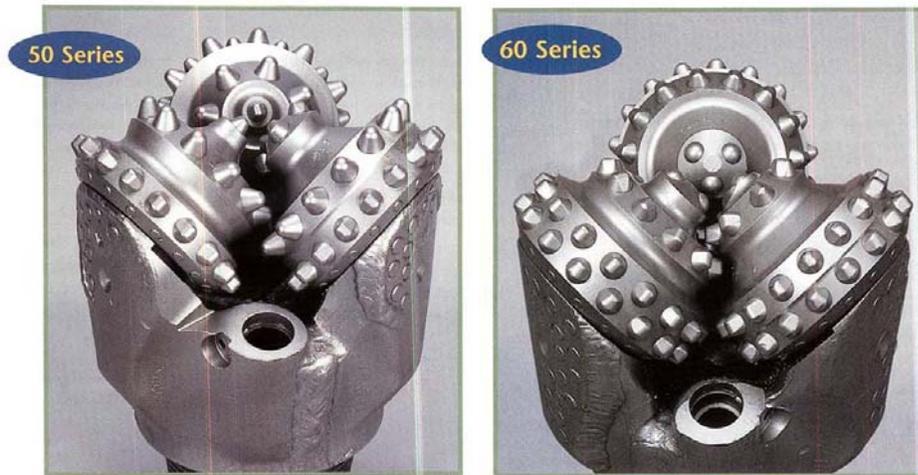


Figura 3.5. Serie de Brocas Baker Hughes usadas en la mina Paso Diablo

3.2.1. Stratalogger.

El Stratalogger es un sistema de información para perforación (creado por Thunderbird Pacific) que permite la instrumentación programada de las perforadoras. Es un datalogger instalado en las perforadoras de producción y que se conecta al Indicador de Eficiencia para perforación (DEI), este sistema cuenta con un software de oficina que puede generar reportes de producción y un gráfico de profundidad versus razón de penetración (ver figura 3.6). Este sistema constantemente recibe y almacena la profundidad y la tasa de penetración del DEI (ver figura 3.7.a). Un terminal manual (ver figura 3.7.b), alfanumérico permite al operador ingresar información relevante de la operación de perforación, así como números de pozos, malla o detalles de localización, número del operador, número de la perforadora y códigos operacionales. Un reloj/calendario interno, marca automáticamente cada información de entrada. Modo de uso del terminal manual: cuando el operador llega a la perforadora, él efectúa un “log on” para ingresar su número de operador dentro del terminal manual; cada vez que un nuevo

barreno es comenzado, el sistema automáticamente insta al operador a ingresar el número del barreno. Normalmente hay otros ingresos de información por parte del operador, hasta que la perforadora es movida a una nueva malla o la broca es cambiada.

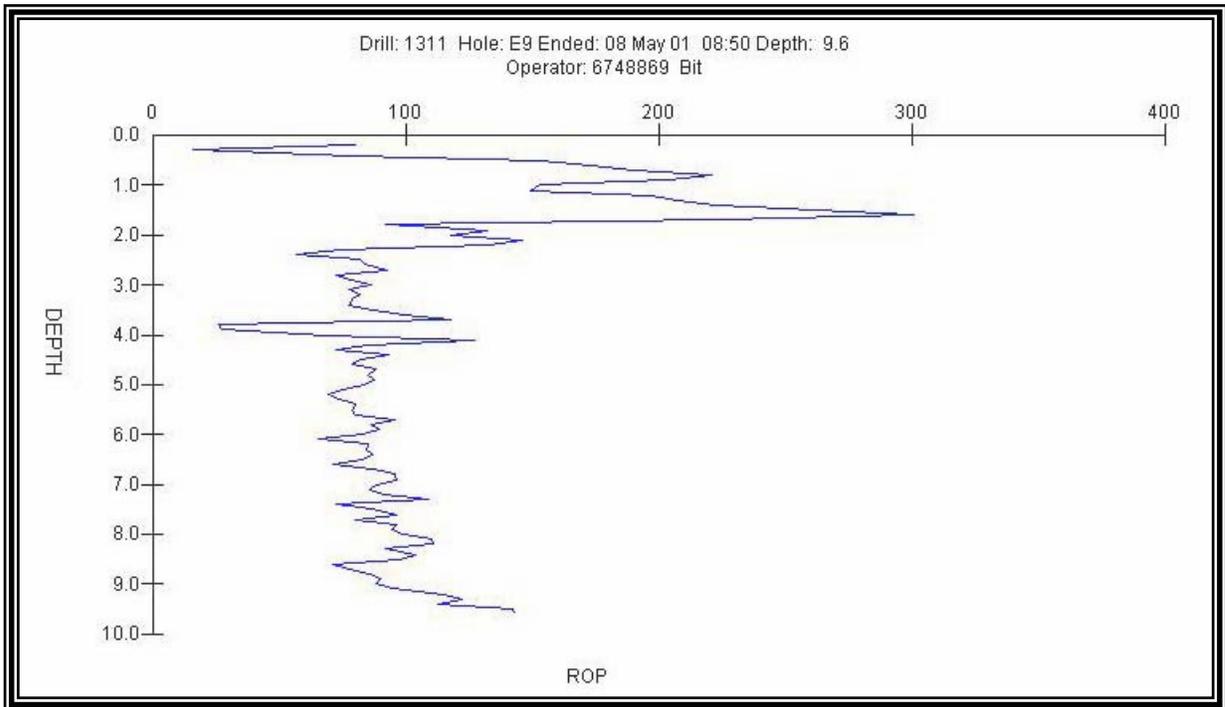


Figura 3.6. Grafico de Tasa de Penetración versus Profundidad.

Entre los beneficios que presta el sistema de Stratalogger a la mina se encuentran:

- Reducción de la sobreperforación.
- Incremento de la razón de penetración.
- Incrementa la vida útil de la broca.
 - Reduce costos de mantenimiento.
- Mejora la exactitud de los reportes.
- Permite hacer el seguimiento a las actividades que acontecen en las perforadoras.



**Figura 3.7. (a) Indicador de Eficiencia para Perforación (DEI) –
(b) Terminal Manual.**

Indicador de Eficiencia para Perforación (DEI): este indicador fue introducido a la industria minera en 1982, es una herramienta que registra cuatro lecturas instantáneas para el operador de la perforadora:

- Profundidad perforada: constantemente despliega la lectura exacta de la profundidad del barreno en decimales de metro. El operador se encuentra habilitado para perforar la profundidad precisa que ha sido especificada en el plan de perforación. Esto ayuda a asegurar el nivel del piso después de la voladura.
- Distancia desde el fondo: esta distancia es automáticamente desplegada cuando la broca retorna desde el fondo del barreno. Durante el repaso del barreno o cuando se adicionan barras, el operador conoce la localización exacta de la broca con respecto al fondo del pozo.
- Tasa de penetración: es la velocidad con que la perforadora realiza el barreno, se expresa en metros por hora (m/h), con esta lectura el operador puede realizar ajuste en la presión de empuje, RPM, torque y presión de aire, y así optimizar la razón de penetración para una condición en particular.

- Profundidad acumulada: esta lectura provee un reporte del total de metros perforado por turno o por día.

Para realizar la transferencia de datos se utiliza un computador Laptop, descargando la información por un puerto RS-232 ubicado en al perforadora. La transferencia de datos se realiza desde el DEI directamente al computador por medio del puerto de conexión, es decir, todos los datos que se introducen por el terminal manual y que se almacenan en el DEI son transferidos al computador, en donde la información de profundidad perforada por cada barreno, profundidad acumulada, tasa de penetración y el grafico de profundidad perforada versus tasa de penetración es almacenada. En la figura 3.8 se observa todos los pasos para obtener la información del DEI al computador Laptop.



Figura 3.8. Transferencia de datos Stratalogger – Laptop.

3.3. PATRÓN DE PERFORACIÓN

El proceso de perforación consiste en un esfuerzo mecánico de rotación y trituración del suelo, accionado por máquinas diseñadas para ejercer este fin con la ayuda de personal entrenado y capacitado para operar esta labor. Dentro de este proceso se deben manejar conocimientos teóricos que complementen los lineamientos de trabajo en las perforaciones.

Espaciamiento: es la distancia que existe entre barrenos de la misma

fila. Retiro: es la distancia que existe entre filas.

Existen muchos tipos de patrones de perforación, los más frecuentemente usado es el cuadrado, rectangular y en trebolillos. El patrón cuadrado tiene igual retiro y espaciamiento. Los barrenos de cada fila son alineados directamente con el barreno subsiguiente de la fila sucesiva.

En el patrón rectangular, el retiro es menor que el espaciamiento. Los barrenos de cada fila son de la misma manera que en el patrón cuadrado.

En el patrón en trebolillo puede tener igual retiro y espaciamiento. Sin embargo, la mayoría de las veces el retiro es menor que el espaciamiento. Los barrenos de las filas son alineados con la mitad del espaciamiento de la fila subsiguiente

En la tabla 3.1 se muestra los patrones de perforación usados en la mina Paso Diablo, se muestra el equivalente de los patrones cuadrados a patrones en trebolillos, la utilización del patrón en trebolillos se debe a su mejor distribución de la energía del explosivo, por esto la aplicación de este patrón de perforación predomina en la gran mayoría de las minas del mundo. La importancia de una buena planificación y ejecución del patrón de perforación tiene como consecuencia directa la mejora en: la fragmentación de la roca, costos de perforación, productividad de los equipos de carga, etc. Por esto la planificación del patrón de perforación es vital para todo proceso minero donde el método de extracción de material se realice por medio de voladuras.

| Área de Voladura | Típicas Profundidades (m) | Patrones Cuadrados (m x m) | Equivalente en trebolillos (m x m) |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| No Carbón | 12 m (Full Face) | 10 x 10 Cuadrado | 9.3 x 10.8 Trebolillo |
| Atravesando el Carbón | 12 m (Bajo Manto) | 8 x 8 Trebolillo | 7.5 x 8.5 Trebolillo |
| Cuñas | 8 m | 8 x 8 Cuadrado | 7.5 x 8.5 Trebolillo |
| Cuñas | 6 m | 6 x 6 Cuadrado | 5.6 x 6.4 Trebolillo |
| Cuñas | 5 m | 5 x 5 Cuadrado | 4.7 x 5.3 Trebolillo |
| Cuñas | 4 m | 4 x 4 Cuadrado | 3.7 x 4.3 Trebolillo |

Tabla 3.1. Patrones de perforación usados en la mina Paso Diablo.

3.3.1. Ubicación de Perforación.

La importancia de la ubicación de las perforaciones radica en el hecho de la fragmentación de la roca, en la figura 3.9 se muestra dos puntos importantes a fracturar en la voladura.

El punto 1 es el más difícil de fracturar debido a que es el punto más alejado de la acción del explosivo y el punto 2 es difícil de fracturar por todo el peso del material a volar que se encuentra encima de este, toda la roca que se encuentra sobre el punto 2 ejerce una presión sobre este punto lo que lo hace más resistentes a acción del explosivo.

Un buen diseño de patrón de perforación debe asegurar la fragmentación de la roca en los dos puntos mostrados en la figura. Siempre en la ejecución del patrón de perforación planificado se dan muchos errores de ejecución que finalizan con un patrón alejado de la realidad.

De allí que cuando el patrón de perforación no se mantiene en lo planificado pueden conseguirse fragmentos de roca más grandes de lo esperado y puede hasta ocasionar problemas en el piso de la voladura realizada, lo que crea la limpieza del piso de la voladura con tractor, adicionando costos a La producción.

El exceso de fragmentos grandes de roca puede ocasionar la disminución de la productividad de los equipos de carga y hasta la realización de voladuras secundarias.

Por esta razón la ubicación de las perforaciones es muy importante en el proceso de la voladura y la implementación de tecnología para disminuir los errores en la ubicación de las perforaciones ha sido la tendencia mundial en los últimos años.

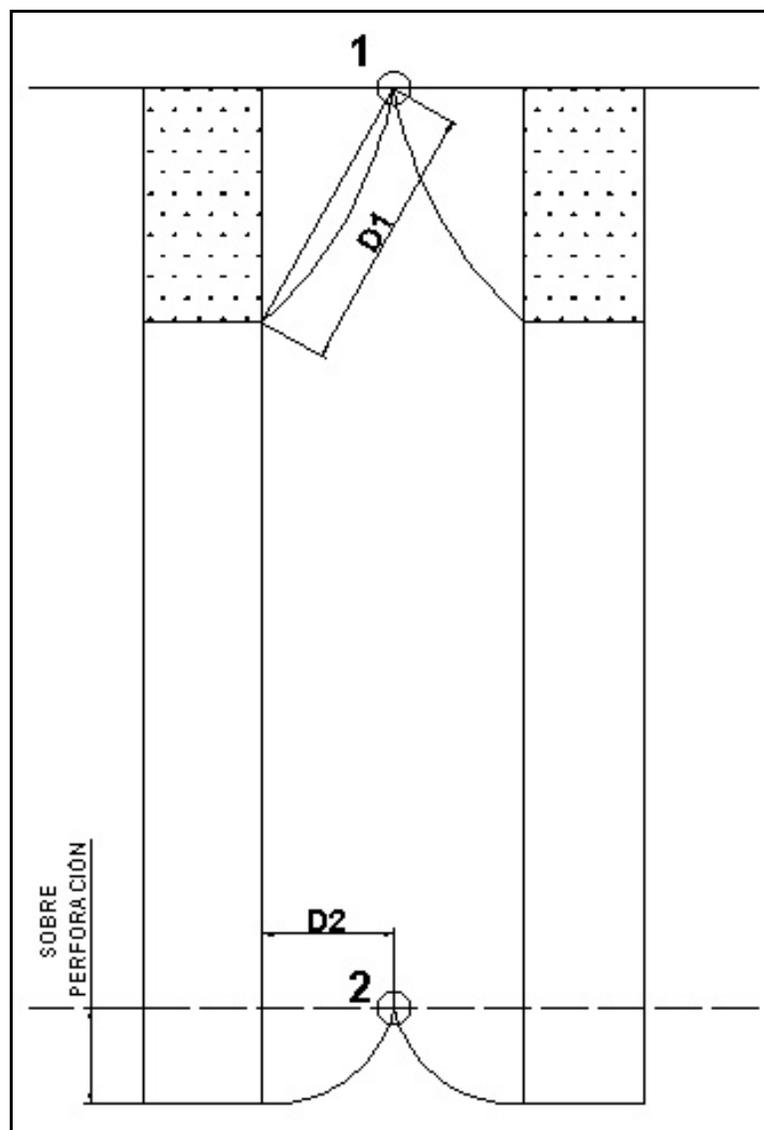


Figura 3.9. Puntos de Difícil Fragmentación en la Voladura.

3.3.1.1. Ubicación de Perforación por cinta métrica y a paso.

La ubicación de las perforaciones en campo con la utilización de cinta métrica consiste en el empleo del sistema métrico para medir las distancias entre los barrenos (espaciamiento) y las distancias entre líneas de barrenos (retiro). En cuanto al marcado a paso, este se basa en el empleo de medidas

de constantes de paso para así tantear la distancia de retiro y espaciamiento del patrón de perforación.

En la mina Paso Diablo actualmente se utiliza para la ubicación de los barrenos cintas métricas y marcado a paso, los cuales se realizan por los operadores de las perforadoras.

3.3.1.2. *Ubicación de Perforación por GPS (Global Position System).*

El empleo de posicionamiento global para ubicar las perforaciones consiste en el replanteo de los barrenos en el campo utilizando coordenadas geográficas, generalmente UTM (Universal Transversal Mercator). Para realizar el patrón de perforación usualmente se emplea un software especializado el cual presenta herramientas de importación y exportación de datos. Para lograr el replanteo es necesario contar con un equipo de posicionamiento global, en la mina Paso Diablo el departamento de topografía cuenta con las herramientas necesarias para poder realizar el replanteo de las perforaciones.

Este departamento cuenta con una serie de equipos y software de computador, que trabajan en conjunto para poder obtener la data real de la mina. A continuación, se muestra todos los equipos y software con que cuenta el departamento de topografía:

Equipos de GPS:

- 2 Receptores Trimble 4700 (Precisión de 1.5 cm en horizontal y 3 cm en vertical o cota) de doble frecuencia con sus accesorios (base y rover). Estos son receptores que presentan 18 canales y pueden captar un máximo de 9 satélites.
- 2 Receptores Trimble 5700 (Precisión de 1.5 cm en horizontal y 3 cm en vertical o cota) de doble frecuencia con sus accesorios (base y rover). Estos son receptores que presentan 18 canales y pueden

captar un máximo de 11 satélites. Este equipo fue adquirido recientemente.

- 1 Receptor Trimble Geo–Explorer II (Precisión de 10 m en horizontal y 20 m en vertical o cota) de una frecuencia. Este presenta 6 canales y puede captar un máximo de 8 satélites.

Software Disponibles:

- Trimble Suvey Office v. 1.51 (del receptor Trimble 4700).
- Trimble Geomatics Office (del receptor Trimble 5700).
- Pathfinder Office v.2.11 (del receptor Geo–Explorer II).
- Software para las estaciones topográficas Leyca TC–1010 y Geodimeter 400.
- Software interno de topografía para cálculos de áreas, volúmenes, secciones, poligonales, etc.

3.3.2. Identificación de los Mantos de Carbón.

Para la ubicación de los mantos de carbón dentro de los barrenos, anteriormente en la mina se tomaban reportes llevados por el operador de la perforadora, el cual consiste en observar el cambio de color del detritus de perforación, y además por el olor del carbón muy característico. Sin embargo, estos reportes no pueden ser muy confiables debido a que existen una serie de parámetros que pueden afectar al operador, como por ejemplo, la rapidez con el detritus aparece en la superficie, existen estratos de lutitas cuyo detritus se comporta muy parecido al detritus del carbón y además no se puede tener la misma visión si se está perforando de noche.

Otro sistema utilizado para la ubicación de los mantos de carbón es el reporte (Gráfico de Tasa de Penetración versus Profundidad, ver Figura 3.6) generado por el Stratalogger, igual que el reporte del operador, la fiabilidad del reporte del Stratalogger no es muy alta, debido a que su interpretación en mucho de los casos es muy complicada, además la tasa de penetración debe

ser muy constante para poder observar una variación en esta, cosa que no se puede lograr debido a los cambios de barra, calibración del torque, etc.; y existen estratos de estéril cuya dureza es muy parecida a la del carbón, por lo que una grafica del Stratalogger puede registrarlo como registra al manto de carbón.

Actualmente para la ubicación de los mantos de carbón en los barrenos de las voladuras Bajo Manto, se están realizando ensayos con un equipo de Sondeo Geofísico, el cual es utilizado en los pozos de exploración geológicos. Este tipo de sondeo geofísico esta incluido dentro de los métodos Radiactivos, que registra la radiactividad inducida. Para registrar los datos se utiliza un equipo denominado PORTALOG III, que consiste en un poderoso procesador compatible IBM, con disco duro y unidad de disquete, conectado a una fuente de Cesio (fuente radiactiva, estrictamente almacenada según las normas de manejo de materiales radiactivos) de 100 milicurie de actividad, a través de un cable de longitud máxima de 500 metros que baja una sonda (2.79 metros de largo) hasta el fondo del barreno para medir las respuestas de densidades de las rocas que se encuentran en al pared del pozo. Una vez que el aparato se ha calibrado comienza su accenso por el barreno de forma lenta (1 m/min), al mismo tiempo que realiza el registro, el cual que da grabado en al memoria del aparato y que puede ser descargada en un disquete.

La sonda de medición de densidad gamma combina una exacta medición de la densidad con una excelente resolución por el uso de múltiples detectores. Los detectores que forman parte de la sonda son:

- El detector de larga distancia (LSD): este provee una intensa medición de la densidad con mínima influencia de la rugosidad del pozo. Para reducir los efectos de tamaño del pozo, la fuente y el detector son recubiertos con tungsteno. La ventana activa la fuente, y el detector es mantenido en contacto con las paredes del pozo.

- Caliper: es una especie de brazo que sobresale de la sonda la cual registra la rugosidad de la pared del pozo.
- Los detectores de corto alcance (HDR y BDR): proporcionan una excelente resolución vertical para una mejor definición. La profundidad de penetración para estos detectores es menor que la del LSD y las mediciones están más afectadas por la rugosidad del pozo.
- La radiación gamma natural: esta es captada por un sensor altamente eficiente que se encuentre cerca del tope de la sonda y lejos de la fuente de radiación.

Los datos de ubicación de mantos en el barreno que se obtiene con este registro, son muy más confiable que los datos resultantes de los reportes del operador de la perforadora y el Stratalogger, ya que cada roca presenta una respuesta distinta a la radiactividad inducida.

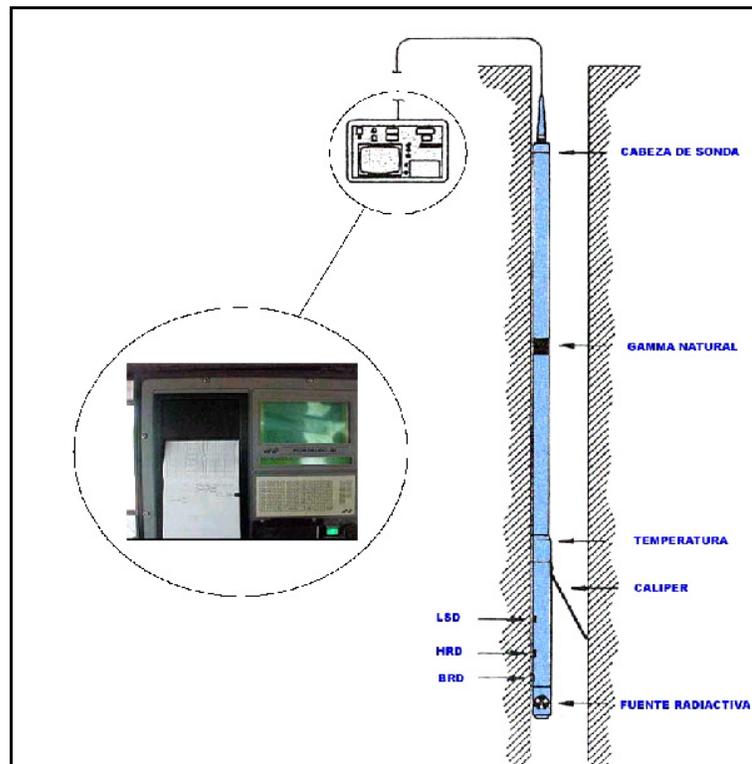


Figura 3.10. Sistema de Identificación de Mantos (Sondeo Geofísico).

3.4. EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS DE PERFORACIÓN

3.4.1. Generalidades.

Las operaciones de perforación y voladura pueden describirse por la productividad, disponibilidad mecánica y física; y la utilización de la disponibilidad física de los equipos de perforación. Dicha descripción puede explicarse mediante la interpretación de los parámetros que conforman cada una de estas medidas de eficiencia.

3.4.2. Productividad.

La productividad de cualquier maquinaria ligada a un proceso productivo esta relacionada a la capacidad de producción, generalmente ligada a un factor tiempo, es decir, producción del equipo por unidad de tiempo. Para expresar la productividad de los equipos de perforación se debe hacer uso de la siguiente formula:

$$\mathbf{Pr = \frac{P}{Tp}} \quad \text{(Ec. 3.1.)}$$

$$\mathbf{TT = Tp + TR + TD} \quad \text{(Ec. 3.2.)}$$

donde,

Pr = Productividad

P = Producción (Metros lineales de Perforación)

Tp = Tiempo de Producción

TT = Tiempo Total

TD = Tiempo de Demora

TR = Tiempo de Reparación

Entre los equipos de perforación a los cuales se les puede determinar la productividad encontramos las perforadoras, cuya productividad viene expresada en metros lineales de perforación por hora.

Para determinar el tiempo de producción es necesario establecerse cuales son los tiempos de demora y de reparación, si observamos la ecuación 3.2 se puede despejar el tiempo de producción y obtener este valor restándole al tiempo total (12 horas por turno de trabajo) los valores de tiempo de demora y de reparación.

Entre los tiempos de demora que se presentan en la mina Paso Diablo se encuentran:

- Engrasado de barra
- Cambio de broca
- Combustible
- Barras trancadas o pegadas
- Cambio de turno
- Transporte
- Limpieza de área a perforar
- Marcado de patrón
- Cambio y preparación de frente
- Falta de área a perforar
- Reserva
- Chequeo
- Comida
- Operador
- Voladura
- Lavado de perforadora
- Calibrado de Stratalogger
- Charla de Seguridad
- Lluvia

- Accidente
- Equipando agua de perforación

Entre los tiempos de reparación que se presentan en la mina Paso Diablo se encuentran:

- Avería
- Mantenimiento preventivo
- Esperando atención
- Otros chequeos
- Equipando agua y/o aceite

Todos estos datos son introducidos por los operadores en una hoja de reporte el cual se debe de llevar con mucha precaución. Posteriormente los datos del reporte son bajados a la fuente de datos con el propósito de llevar un control de las perforadoras y así detallar alguna variación importante, para poder reportarla con tiempo.

3.4.3. Disponibilidad Física y Mecánica.

Existen dos maneras de calcular disponibilidades de equipos, el primero, Disponibilidad Mecánica, es el factor que muestra los tiempos perdidos por razones puramente mecánicas. El segundo, la Disponibilidad Física, es la disponibilidad total operacional y considera los tiempos perdidos por cualquier razón. Las siguientes formulas muestran la forma de calcular ambas disponibilidades:

$$DM(\%) = \frac{T_p}{T_p + TR} \times 100 \quad (\text{Ec. 3.3.})$$

$$DF(\%) = \frac{T_p + TD}{TT} \times 100 \quad (\text{Ec.3.4.})$$

donde,

DM = Disponibilidad Mecánica

DF = Disponibilidad Física

Hay que destacar que los valores de disponibilidad mecánica generalmente son menores que los valores de disponibilidad física.

3.4.4. Utilización de la Disponibilidad Física.

La utilización de la disponibilidad física es un porcentaje que muestra el registro de cómo eficientemente una operación hace uso de la disponibilidad física, y como tal, es una excelente herramienta de gerencia. Además esta medida de eficiencia se puede interpretar como el porcentaje real de operación del equipo.

Para determinar la utilización de la disponibilidad física es necesario usar la siguiente ecuación:

$$U(\%) = \frac{T_p}{T_p + TD} \times 100 \quad (\text{Ec. 3.5.})$$

donde,

U = Utilización de la Disponibilidad Física

El uso de la ecuación 3.5 sobre un periodo de tiempo establece un nivel de eficiencia de operación y puede proveer un indicador real de la salida de esta norma.

3.5. SISTEMAS DE VOLADURAS

3.5.1. Sistema de Voladura Convencional.

Este sistema de voladura se puede explicar siguiendo los siguientes pasos:

1. Perforación con patrón variado, esto debido a que se debe perforar hasta donde se encuentre la capa de carbón, y por ser la capa de estéril la que suprayace una cuña (cuña superior, figura 3.11.a), las perforaciones tocan el carbón a diferentes profundidades en cada línea. Por lo tanto,

donde el carbón se encuentra más cercano a la superficie, el patrón de perforación debe ser más cerrado, es decir, el retiro y el espaciamiento deben ser más pequeños que en el resto del área a perforar. A medida que el carbón va profundizando el patrón de perforación va tomando las dimensiones estándares de 10 x 10 metros.

2. Carga y voladura de la cuña superior. Las operaciones de la mina deben detenerse mientras ocurre el proceso de voladura.
3. Remoción del estéril.
4. Remoción del carbón con un escarificador.
5. Terraceo de la cuña inferior (ver Figura 1.1.b). Luego de ser extraído el carbón, se deben realizar terrazas con el tractor, con la finalidad de realizar pequeños bancos horizontales de trabajo para que la perforadora pueda realizar barrenos verticales.
6. Perforación de la cuña inferior. Después de estar realizadas las terrazas, se perfora la cuña inferior. Como en la cuña superior, se deben utilizar patrones de perforación variados debido a las diferentes alturas que existen en los pequeños bancos con respecto al nivel inferior esperado.
7. Carga y voladura de la cuña inferior. Nuevamente se deben parar las operaciones en la mina.
8. Remoción del estéril.

Este sistema implica una doble movilización de los equipos de perforación y voladura, es decir, la perforadora debe realizar los barrenos en la cuña superior y luego en la inferior, el equipo de voladura debe realizar dos trabajos de carga, por lo tanto, se utilizan mayor cantidad de accesorios explosivos, además, se gastan horas de tractor para el terraceo. Entonces se deben ejecutar dos voladuras para remover el carbón de un solo bloque.

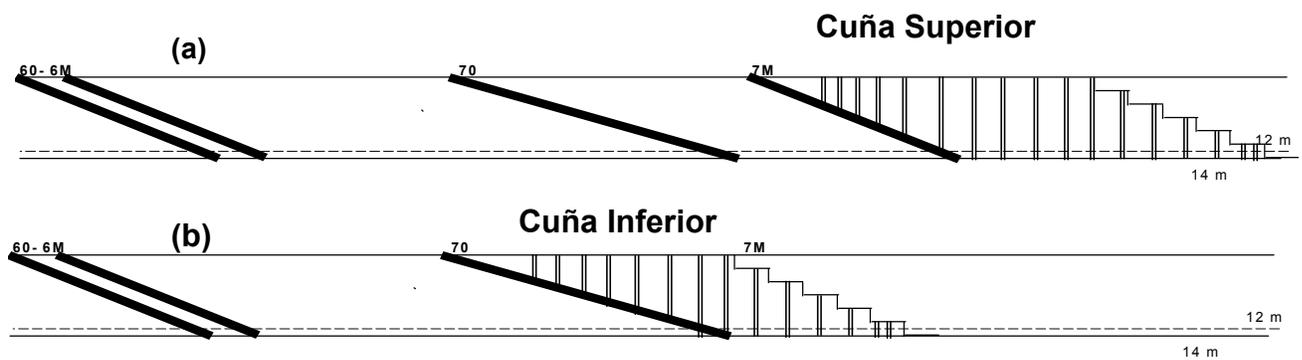


Figura 3.11. Diagrama del Sistema de Voladura Convencional

3.5.2. Sistema de Voladura Bajo Manto.

Consiste en perforar bloques completos atravesando tanto estéril como carbón, realizando una sola voladura, sin producir daño al manto de carbón, se requiere un excelente perfil del manto a perforar debido que a la hora de cargar los barrenos con los explosivos se debe tener mucho cuidado con no dañar el manto de carbón (ver Figura 3.12.). Las ventajas de la voladura bajo manto con respecto al sistema tradicional son las siguientes:

- Se perfora el bloque solo una vez y con un patrón estándar.
- Se perfora siempre sobre pisos horizontales y a una misma profundidad todos los barrenos.
- El proceso de carga se realiza una vez, por lo tanto, se ejecuta una sola voladura.
- Se eliminan las horas de tractor necesarias en el sistema tradicional.
- Se tiene mayor inventario de material volado.

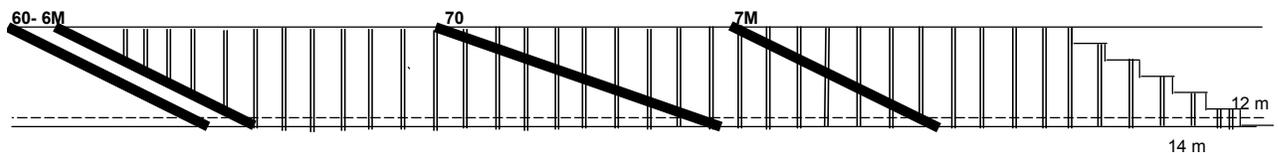


Figura 3.12. Sistema de Voladura Bajo Manto.

3.6. ACCESORIOS Y MATERIALES USADOS EN VOLADURAS

3.6.1. Detonadores y Mecha Lenta.

Los detonadores ordinarios están formados (ver Figura 3.13) por un casquillo de aluminio o bronce que contienen dos cargas: una carga base de un explosivo de alta velocidad de detonación, en el fondo del tubo y una carga primaria de un explosivo más sensible. Antes de las descargas que conforman el detonador, se encuentra una mezcla de ignición que asegura la generación de la flama que forma la reacción entre las dos cargas principales. Se inicia por medio de un ramal de mecha lenta que se engarza al detonador con unas tenacillas o mordaza especial. Esa mecha lenta está fabricada por un núcleo de pólvora rodeada de varias capas de hilados y materiales impermeabilizantes, resistentes a la abrasión, a la humedad y a los esfuerzos mecánicos. El corte de la mecha lenta para que se produzca un buen contacto con la mezcla de ignición del detonador debe ser normal al eje del núcleo de la misma. El tiempo de combustión es normalmente de dos minutos por metros, con una tolerancia del $\pm 10\%$.

Se pueden hallar detonadores en donde la carga de ignición y la carga primaria, están separados por un elemento retardador del tiempo de detonación, que quema a una tasa conocida, cuya longitud y composición controla el tránsito del tiempo. Estos elementos pueden retardar desde los 25 milisegundos hasta los 500 milisegundos.

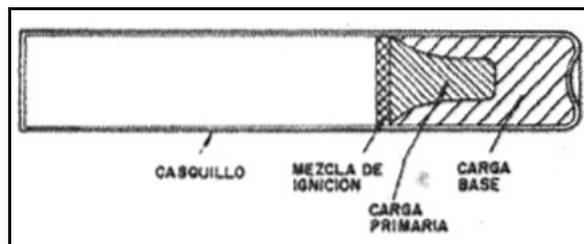


Figura 3.13. Estructura Detonador.

3.6.2. Cordón Detonante.

El cordón detonante es un redondo y flexible cordón que contiene un centro de alto explosivo. Este detona a una velocidad de 22,000 ft/seg (6,700 m/seg). El centro del cordón es generalmente es pentaeritritol tetranitrato (PETN), el cual se encuentra rodeado por varias capas de hilados y fibras flexibles, con un recubrimiento exterior de cloruro de polivinilo que permite que tenga unas características adecuadas de flexibilidad, impermeabilidad, resistencia a la tracción y a la humedad. El centro del cordón es generalmente expresado en granos de explosivos por pies lineal de cordón (o metros lineales por cordón). El cordón usado mas frecuentemente es el de 15 a 60 g/ft (3.2 – 12.7 g/m), sin embargo, este puede hallarse con valores de 2 g/ft (o 4 g/m) y hasta 400 g/ft (85 g/m).

3.6.3. Nonel.

Este sistema utiliza polvo explosivo dentro de un tubo plástico que trasmite la señal de inicio. Este tubo contiene en uno de sus extremos un detonador de retardo, con la misma estructura del detonador modelo con la excepción de que contiene el elemento de retardo. Este tubo de choque está compuesto de una o dos capas de plástico, las cuales son diseñadas para mejorar sus propiedades físicas, (tensión, fuerza, flexibilidad, resistencia a la abrasión) con un interior que siempre contiene Surlyn. El Surlyn® sirve para unir la capa delgada interior de polvo reactivo (HMX y aluminio) con ella misma. El nonel es siempre insensitivo a la iniciación por calor del ambiente o impacto y requiere de un golpe fuerte de impulso para poder ser energizados. La velocidad con que se trasmite la señal es aproximadamente 6,500 a 7,000 ft/seg (1980-2130 m/seg).

3.6.4. Búster.

La traducción correcta de la palabra búster a castellano, es amplificador, lo cual se pueden interpretar como amplificador de la velocidad de detonación del fulminante o detonador. El desarrollo de los productos del ANFO, y posteriormente, el desarrollo de los agentes de voladuras basados en gel de agua, crearon la necesidad de bústeres de mayor velocidad y mayor energía. El progreso de las emulsiones combinadas no sensibles continuó incrementando la necesidad por estos bústeres altamente más energéticos. Los bústeres de nitroglicerina (NG) están disponibles pero en un empaque menos convenientes y no se ajusta a las tendencias globales de barrenos que contienen productos con ausencia de nitroglicerina.

Aunque estos bústeres con ausencia de nitroglicerina son más resistentes a las detonaciones accidentales por impacto, golpe o fricción, ellos deben ser manejados con la misma seguridad que los otros explosivos.

Este búster modelo es un casco explosivo-sensitivo que típicamente contiene trinitrotolueno (TNT) como material modelo. Diferentes explosivos moleculares son mezclados dentro del TNT disuelto, dándole energía adicional y/o sensibilidad al búster. Estos explosivos moleculares son materiales energéticos, que contiene todos los elementos para una reacción de detonación en las moléculas de los explosivos. Existen muchos tipos de bústeres modelo, pero el usado en la mina paso diablo es el búster de pentolita.

3.6.4.1. *Búster de Pentolita.*

Una mezcla de PETN y TNT. La formulación típica contiene 50% de PETN y 50% de TNT, pero algunas marcas contienen altos porcentajes de PETN: típicamente en el rango del 60%.

3.6.5. Equipos de Mezcla y Carga.

Es relativamente fácil mezclar la emulsión con el nitrato de amonio (AN) o el ANFO para formar una combinación de explosivos y varias técnicas han sido desarrolladas para este propósito.

Una de las piezas más comunes de equipamiento es un camión de combinaciones explosivas (Figura 3.14), el cual es construido con un recipiente que almacena el AN o el ANFO, un tanque para emulsión y un pequeño tanque para diesel fuel oil. Alunas veces el camión puede presentar un recipiente para aluminio para formular combinaciones de mayor energía.

El camión de explosivos mostrado en la figura 3.14 es capaz de cargar: (1) ANFO, (2) HEAVY ANFO o cualquier combinación emulsión/AN, a la relación deseada; o, (3) una combinación que puede ser bombeada de los barrenos llenos de agua.

Un calibrador de peso de AN es continuamente graduado por un berbiquí de fondo, desde el recipiente de AN hasta el interior de una fresa de mezcla.

De la misma manera, un calibrador de peso de emulsión bombea desde el tanque de emulsión por medio de un desplazamiento positivo de la bomba, dentro de la fresa mezcladora donde la mezcla es combinada por la acción de esta fresa.

Si se necesita balance de oxígeno, el diesel fuel oil es también medido dentro de las fresas mezcladoras.

La mezcla de la combinación explosiva es después descargada desde la fresa hasta el barreno; o, si el barreno presenta agua la relación de emulsión-ANFO es incrementada hasta que la combinación pueda ser bombeada. La combinación es bombeada al fondo del barreno a través de una manguera.

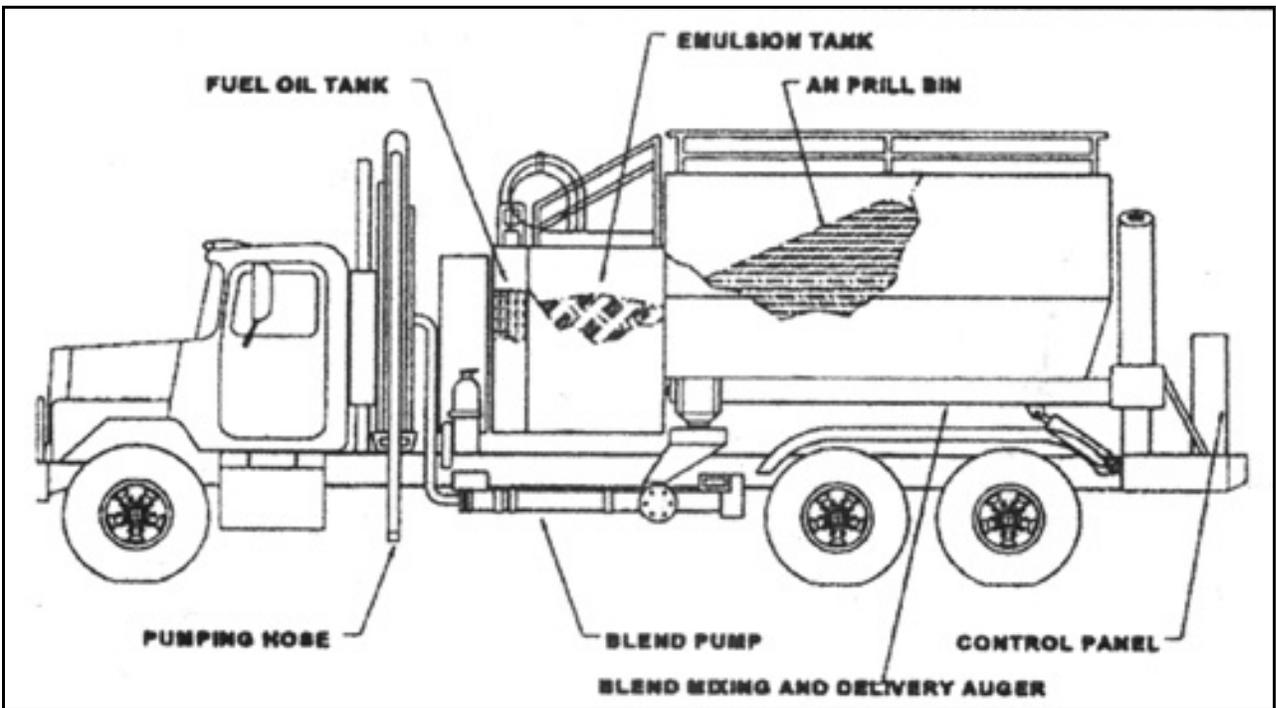


Figura 3.14. Camión Mezclador de Explosivos.

3.6.6. Gas Bag.

El gas bag es un tapón que puede ser inflado y que se introduce en el barreno, su principal uso es para bloquear o sellar el hueco a cualquier profundidad. Se pueden conseguir modelos con diámetros desde las 3 pulgadas hasta las 16 pulgadas.

No se requiere ningún compresor de aire, debido a que son inflados de forma química. No existe probabilidad de escape de aire debido que es sellado cuando es manufacturado. No se produce calor durante el inflado y los ingredientes no son cancerígenos. Los costos de explosivos por uso de gas bag pueden ser reducidos hasta un 35%.

Los gas bag son fabricados para un fácil manejo, estas contienen dos bandas de hule, que no se deben remover hasta que se proceda a colocar el gas bag, debido a que estas bandas permiten el inflado automático.

Existe un cordón atado a una etiqueta en el tope del gas bag para que la bolsa pueda bajarse correctamente al fondo del agujero

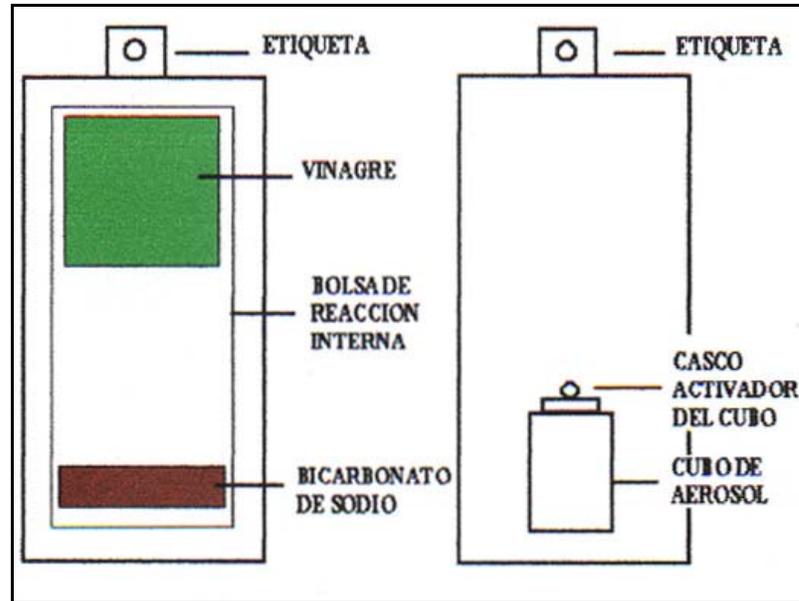


Figura 3.15. Estructuras Tipos de Gas Bag.

Existen dos modelos (figura 3.15) de gas bag frecuentemente usados para barrenos con presencia de agua, cavidades o para reducir la cantidad de explosivo en un barreno. Estos modelos son:

- Gas Bag de Vinagre: contiene un líquido colorante el cual se aprieta produciendo que este explote, esta explosión produce que el vinagre se mezcle con el bicarbonato de sodio que se encuentra en el fondo de la bolsa. Se debe estar seguro que el vinagre ha sido drenado en el bicarbonato de sodio, para después proceder a bajar la bolsa hasta el lugar de posicionamiento dentro del barreno. Después de que la bolsa es activada existe un lapso de 40 segundos antes de que la bolsa se infle, por lo cual se debe tener mucha precaución y rapidez a la hora de posicionar el barreno.
- Gas Bag Aerosol: este trabaja cerrando un casco de activación en el tope de un cubo de aerosol colocado en fondo de la bolsa. Hay que

presionar lo suficientemente fuerte para estar seguro que la etiqueta se abra. Al abrir la etiqueta se libera un líquido colorante por 40 segundos antes que se inicie el inflado de la bolsa. Una vez que el cordón está firme en el hueco, se procede a retirarlo.

3.6.7. Para-Plug.

Este sistema de air-decking consiste en una lámina circular de cartón, la cual es posicionada en el barreno con la finalidad de crear una cámara de aire, ya sea para reducir costos de explosivos o para separar caras de explosivos. Dicha lámina previamente a su colocación tiene forma cónica, ya que así es más fácil el acceso al barreno, la lamina esta conectada a una cuerda que permite ir desplazándola por el barreno. Una vez que esta lamina llega al punto de posicionamiento dentro del barreno, se tira de la cuerda la cual suelta una plomada que esta en la parte inferior del para-plug, dicha plomada ocasiona que la forma cónica que mantiene la lamina se pierda y recupere su forma original circular. Posteriormente esta forma hace que la lámina se adhiera a las paredes del barreno. Este método presenta muchas desventajas, una de ellas es que el paso excesivo del material que sostiene la lámina puede producir que la fuerza de fricción entre la lámina y la pared del barreno sea vencida.

3.7. TIPOS DE EXPLOSIVOS

Dentro de la mina Paso Diablo se cuenta con una planta de emulsiones, de la cual proceden la mayoría de los explosivos usados en la mina. A continuación se hará una pequeña reseña de cada uno de los bajos y altos explosivos usados en el proceso productivo de la mina Paso Diablo.

3.7.1. ANFO - Nitrato de Amonio (AN) Fuel Oil (FO).

El Nitrato de Amonio es un ingrediente esencial en casi todos los explosivos comerciales incluyendo la dinamita, emulsión y geles de agua. Su uso es predominante, sin embargo, esta en forma de una pequeña pelota porosa, llamada “prill”, mezclado con fuel oil.

Desde su introducción en los años 50, los productos del ANFO tienen un uso extenso en variedad de aplicaciones en voladura, tales como la minería a cielo abierto del carbón, minería metálica, canteras y la construcción. Su dominio en estas aplicaciones se atribuye a su economía y conveniencia.

Las limitaciones del ANFO son su “no” resistencia al agua y su baja densidad. El producto más usado del ANFO es aquel cuyo balance de oxígeno y mezcla libre de fluido esta cerca de 94% de Nitrato de Amonio y 6% de combustible diesel. Otros productos de ANFO son modificaciones de la formula básica ANFO, dentro de los cuales se encuentran:

1. Sustancia tales como aluminio o materiales carbonosos son usados en conjuntos con combustible diesel N: 2.
2. Los prills de Nitrato de Amonio molido y mezclado con combustible diesel N:2 (y posiblemente otras sustancias), en paquetes resistentes al agua para ser usadas en barrenos ligeramente húmedo.

3.7.1.1. *Prills de Nitrato de Amonio (AN).*

Este material es también frecuentemente referido por la terminología poroso (porous), grado de explosivos, industrial, o baja densidad nitrato de amonio.

La producción de los prills de nitrato de amonio, es un proceso de múltiples pasos que comienzan con gas natural y aire. Figura 3.16.

El punto final de este proceso consiste en rosear un concentrado (94% a 96%) de solución de nitrato de amonio, a través de una placa perforada o una ducha, en el punto más alto de la torre de prills. Las gotas del nitrato de amonio líquido son formadas por las aberturas de la ducha o por la placa perforada.



Figura 3.16. Proceso de la manufacturación de los prills de AN.

Durante la caída libre de las gotas de nitrato de amonio, a una altura de 100 a 200 pies (30.5 – 61m), esta se cristaliza en prills esféricos de AN. Estos prills son secados, enfriados y pueden ser cubiertos con agentes protectores, previamente a su embalaje.

El principal uso de los prills de AN es en la agricultura, como fertilizantes. Sin embargo, los prills utilizados en la agricultura difieren de los prills usados en los explosivos los últimos son usualmente menos densos y por consecuencia más porosos.

3.7.1.2. Densidad Prills.

El mejor prill para productos de voladuras tiene una densidad de partículas en el rango de 1.3 a 1.5 g/cc. Los prills de AN con densidad de

partículas aproximadas a la densidad del nitrato de amonio sólido (ligeramente sobre los 1.7 g/cc), son sensibles a la detonación. Los vacíos de los poros, que dan menos densidad a los prills tienen dos funciones: (1) Ellos permiten a los prills absorber y retener el fuel oil de una forma uniforme e íntima; y (2) Ellos mejoran la sensibilidad, en los sitios de altas temperatura “puntos calientes” o puntos de ignición.

3.7.1.3. *Cubiertas Protectoras.*

Agentes activos líquidos de superficie (sulfactantes) y molido fino (menor de malla 325) de caolín o cubierta de talco (utilizados para dispersar la humedad del ambiente), son las cubiertas usadas con mayor frecuencia. Estas retardan la afinidad del prill, debido a la humedad que produce sobre la superficie del prill, por consiguiente minimiza el endurecimiento.

En algunos casos, el uso solamente del sulfactante tiende a proveer una efectiva cubierta de protección del ambiente y la humedad. Excesivas cantidades de talco o caolín producen: 1) disminución de la sensibilidad del ANFOR, debido a la naturaleza inerte de estos minerales; 2) interferencia en la distribución del combustible, el cual afecta al desempeño del ANFO. Excesivas cantidades de ciertos sulfactantes pueden afectar la estabilidad del emulsificante en las emulsiones. Estos pueden afectar el desempeño de las mezclas ANFO/EMULSIONES. Un prill típico debe tener un porcentaje de cubiertas protectoras menor al 1.0%.

3.7.1.4. *Velocidad de Detonación.*

La velocidad de detonación del ANFO vertido a granel depende del diámetro del barreno y del grado de confinamiento en el cual se detona. La velocidad de detonación del ANFO incrementa cuando se incrementa el diámetro del barreno. Ver Figura 3.17.

El tipo de confinamiento del ANFO afecta la velocidad de detonación, y esto puede o no, obligar a realizar una detonación en diámetros pequeños. Por ejemplo, la mayoría de los ANFO que no son confinados en el barreno, no detonan en diámetros menores a cuatro pulgadas (100 mm), sin embargo, cuando el ANFO es confinado, puede detonar en diámetros hasta de una pulgada (25 mm) o inclusive menores a una pulgada.

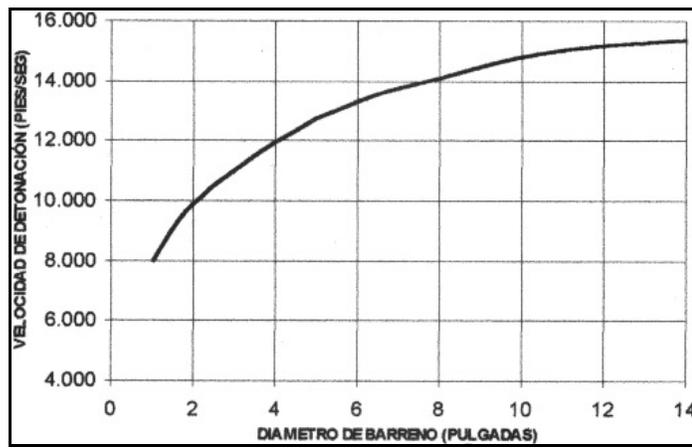


Figura 3.17. Velocidad de Detonación del ANFO vs Diámetro de Barreno.

3.7.1.5. Densidad ANFO.

La densidad del ANFO a granel depende, tanto de la densidad como del tamaño de los prills de nitrato de amonio usados en la mezcla. La mayoría de los ANFO tienen una densidad de vertido entre 48 y 53 libras por pie cúbico (0.77 a 0.85 g/cc “0.85 densidad del ANFO usado en mina Paso Diablo”).

La carga neumática del ANFO con algunos tipos de maquinarias o empacadores mecánicos, puede generar un incremento en la densidad del producto final de ANFO, esto se origina por la fragmentación de los prills o por el empacado hermético.

Dependiendo del tamaño de las partículas de AN y el método de empacamiento, el valor máximo de densidad que puede alcanzar la mezcla

de ANFO es 1.10 g/cc. En los casos que se midan densidades sobre 1.20 g/cc, la sensibilidad del ANFO disminuye. Muchas pruebas se han realizado para poder incrementar la densidad de vertido y la velocidad de detonación del ANFO.

Una de las pruebas consiste en reducir el tamaño de los prills de AN, dicha reducción se realiza por la molienda de las partículas, teóricamente, las partículas de menor tamaño incrementan la densidad y la velocidad del ANFO, pero la práctica en campo demuestra que esto afecta las propiedades del ANFO.

Se han realizado ensayos para producir prills (mini-prills) de menor tamaño que los usualmente producidos, todo con la finalidad de poder lograr un incremento en la densidad y velocidad del ANFO. Más difícil aun que producir estos mini-prills, es lograr la distribución de estas partículas, es decir, que las partículas de menor tamaño encajen perfectamente entre las partículas de mayor tamaño. Aunque es teóricamente atractiva la producción de mini-prills, en lo práctico y lo económico esto no es posible.

3.7.1.6. *Porcentaje de Fuel Oil.*

La cantidad de fuel oil afecta la energía, la velocidad, la sensibilidad y los vapores del ANFO.

Tal como muestra la figura 3.18, el ANFO con un porcentaje de combustible del 6% tiene teóricamente la máxima energía cinemática (E_{wk}) y mayor velocidad de detonación. Un porcentaje menor de combustible reduce la energía (E_{wk}) en una mayor proporción que los excesos sencillos.

Por otro lado, la sensibilidad del ANFO decrece cuando el porcentaje de combustible está comprendido entre el 2% y 6%.

En la mina Paso Diablo generalmente el porcentaje de fuel oil utilizado en la mezcla del ANFO es del 6%.

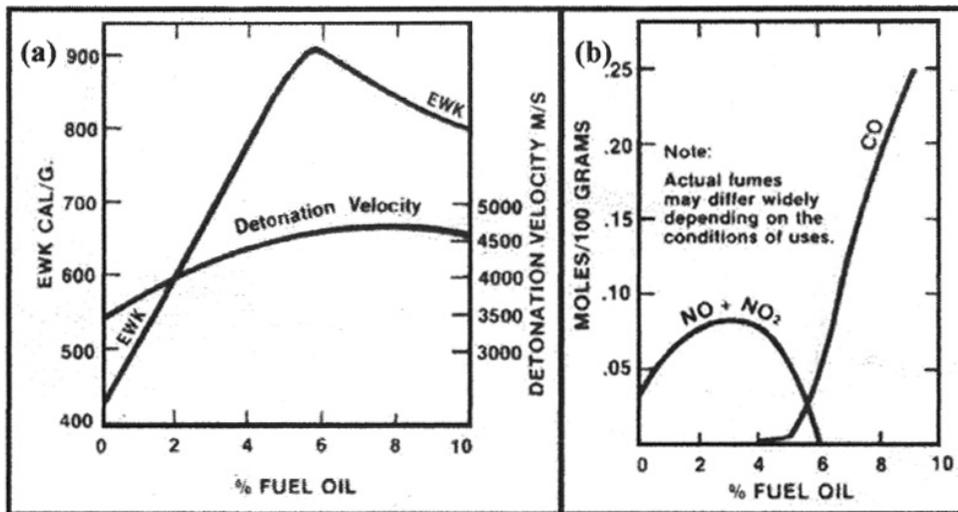


Figura 3.18. (a) Ewk y Velocidad de Detonación versus Porcentaje de Fuel Oil. (b) Vapores de ANFO versus porcentaje de Fuel Oil.

3.7.1.7. Resistencia al Agua.

Los barrenos que presenten humedad no deben ser cargados con ANFO, de no ser que tenga una protección (generalmente, bolsas plásticas). El agua disuelve los prills de nitrato de amonio, provocando la insensibilidad del ANFO. Para demostrar este efecto de insensibilidad, se han realizado voladuras donde el ANFO fue cargado en barrenos húmedos sin ninguna protección, en donde los resultados obtenidos estuvieron muy por debajo de lo esperado. La experiencia e campo ha justificado que los buenos resultados de las voladuras con ANFO, solamente se dan cuando éste trabaja en barrenos secos.

3.7.1.8. Vapores.

El ANFO manufacturado adecuadamente, correctamente aplicado, producirá una tasa de vapores clase I, como lo designa el Instituto de Fabricantes de Explosivos (Institute of Markers of Explosives – IME). La clase

I, quiere decir que las características de los vapores son muy buenas. Sin embargo, la inapropiada preparación o aplicación del ANFO, puede producir indeseables cantidades de gases tóxicos, los más comunes son óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono.

Las voladuras en la cual el ANFO produce grandes volúmenes de humos rojizos o anaranjados–marrones, usualmente son óxidos de nitrógeno (NO_x), esto puede ser indicativo que el producto tiene poco porcentaje de fuel oil; además, la sensibilidad marginal, los terrenos suaves o el desprendimiento prematuro del confinamiento el amarre inadecuado y los barrenos húmedos son todas razones por las cuales se incrementa la producción de NO_x .

Teóricamente, el excesivo contenido de fuel oil en la mezcla del ANFO tiende a producir monóxido de carbono pero en la realidad reduce la sensibilidad de la mezcla dando como resultado la liberación de NO_x .

3.7.2. Emulsiones.

La historia de la emulsión comienza en 1981 cuando Richard Egly y Albert Neckar de la Corporación de Solventes Comerciales generan una patente en conjunto con la Oficina de Patente de los Estados Unidos, para una agente de voladura compuesto de una mezcla de agua en aceite y un oxidante sólido (nitrato de amonio). Esta patente se concedió en 1964 como una Patente de los Estados Unidos de Norteamérica (N° 3,161,551). Más que buscar un explosivo en forma de emulsión, ellos estaban tratando de hacer un ANFO impermeable. Subsecuentes desarrollos en los años 60 y comienzo de los 70, produjeron emulsiones con características de explosivos para diámetros pequeños y tasas de detonación comparables a las diferentes calidades de la dinamita. Adicionalmente, las emulsiones se desarrollaron

con características que les permiten ser seguras y eficientes, cuando se usan en sistemas de carga de grandes volúmenes (grandes diámetros).

La densidad de la emulsión que se utiliza en la mina Paso Diablo tiene una valor de 1.15 g/cc, lo cual le da unos 56 kilogramos por metro lineal de perforación.

3.7.2.1. *Propiedades de Emulsiones.*

- Forma Física

Una emulsión es una mezcla íntima de dos líquidos inmiscible, con una fase líquida dispersa uniformemente a lo largo de la segunda fase. Los explosivos en emulsión son dispersiones de soluciones de agua de oxidantes en un aceite medio o emulsiones de “Agua –en –Aceite” (Figura 3.19). Es esta única estructura y la alta relación de oxidante en combustible, es lo que le da a la emulsión esas características que la hacen tan especial.

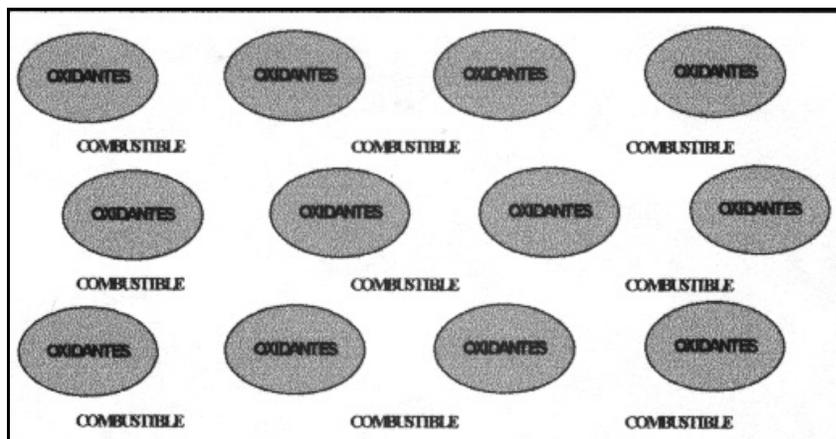


Figura 3.19. Oxidante rodeado por combustible.

La fase de aceite o combustible es conocida como a fase continua o externa, debido a que rodee y costee todo las partículas de oxidantes. La fase combustible es generalmente aceite o cera o una combinación de los dos. El combustible diesel N°2 (Fuel Oil -FO) es comúnmente usado en la

fase de combustible en la mayoría de las emulsiones. La fase de agua o solución oxidante es llamada la fase discontinua o interna, debido a que las partículas microscópicas son mantenidas aparte y rodeadas por la fase continua o fase de combustible. La fase oxidante siempre contiene nitrato de amonio. Otras sales como nitrato de sodio, nitrato de calcio y perclorato de amonio y sodio pueden ser incluidas en la fase oxidante. Los restos de oxidante dispersados en el combustible para formar una emulsión estable se lo logra a través de la acción de un emulsionante.

Existen muchos emulsionantes y la escogencia de cual usar depende de los requerimientos particulares del producto final. La emulsión formada por fase combustible, fase oxidante y emulsionante, antes de cualquier adicionamiento de agente de abultamiento, aluminio, o nitrato de amonio sólido es llamada la matriz y es la base para productos subsecuentes.

3.7.2.2. *Estructura.*

Debido a la necesidad de mantener el balance de oxígeno cerca de cero, las emulsiones necesitan que el volumen de oxidante sea mayor que el volumen de combustible: la relación es aproximadamente 9 a 1. Porque el volumen relativo de combustible es menor que el del oxidante, el combustible debe de extenderse en una capa muy delgada para cubrir todas las partículas de oxidante. El tamaño de las partículas es muy pequeño, esto se debe a la relación de oxidante/combustible, las partículas son en forma de muchos poliedros. Las partículas están usualmente en el rango de 0.2–10 micrones de diámetro, o cerca de $1/40^{\text{th}}$ a $1/2000^{\text{th}}$ de un grano de cloruro de sodio. La viscosidad de la emulsión esta controlada por la fase combustible y el tamaño de las partículas. La composición (cera, aceite, emulsionante) de la fase completa de combustible tiene gran influencia en la viscosidad final de la emulsión. Aceites de poca viscosidad, como el combustible Diesel N°2 puede ser usada para crear emulsiones que permitan ser bombeadas. Ceras

y aceites de alta viscosidad son usados para crear productos espesos y emulsiones en cartuchos. El tamaño de las partículas es controlado por la cantidad de trabajo puesto en la emulsión.

3.7.2.3. *Velocidad.*

Esto es un hecho establecido que la partícula de menor tamaño de los ingredientes de un explosivo, es la con mayor velocidad de detonación (VOD). Puesto que el tamaño de las partículas es tan fino, las VOD de las emulsiones son muy altas – cerca de la teórica. La VOD disminuye un poco si el diámetro de carga disminuye o si los sólidos como el aluminio o los prills de nitrato de amonio son agregados, pero la VOD generalmente permanece alta si se compara con la mayoría de los geles de agua.

3.7.2.4. *Presión de Detonación.*

Las emulsiones tienen una alta velocidad de detonación y una razonable densidad, además tienen una alta presión de detonación. La presión de detonación en las emulsiones es medida por la técnica “Acuario”, los valores están entre los 100 y 120 Kbar/(1.45–1.74 x 10⁶ psi).

3.7.2.5. *Sensibilidad.*

Debido a que las emulsiones tienen partículas muy finas y son íntimas mezclas de combustible y oxidante, solamente un agente reductor de densidad se necesita ser adicionado para que las emulsiones sean detonables. Para esto no es necesario usar altos explosivos o sensibilizadores químicos. La densidad puede ser reducida por aire comprimido, gas generado químicamente, perlita, plástico extendido, vidrio puro o inclusive los prills de Nitrato de Amonio. La sensibilidad de las

emulsiones puede variar desde un detonador N° 8 (o menos) iniciado un alto explosivo a 68°F (-20°C), a sensibilidad del búster iniciando agentes de voladura de 1.5D. La sensibilidad de las emulsiones esta sobre un rango de temperatura, y además sobre un rango de diámetros (si el diámetro de las partículas es 7/8 pulgada [22 mm], la sensibilidad esta por arriba de la sensibilidad de los Altos Explosivos y si el diámetro de las partículas es 1½ pulgada [38 mm], la sensibilidad de la emulsión esta por arriba de la sensibilidad de los Agentes de Voladura). Diferentes densidades en los agentes reductores son usadas por diferentes razones, pero las microesferas de vidrio son las más comunes, aunque químicamente los gases son más populares.

| DIAMETROS DISPONIBLES | DENSIDAD | VELOCIDAD DE DETONACIÓN (FPS) | VELOCIDAD DE DETONACIÓN (M/S) | RELATIVE WT STRENGTH (RWS) | RELATIVE BULK STRENGTH (RBS) | CLASIFICACIÓN |
|-------------------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------|
| 1 1/4" - 1 1/2" (32-38 mm) | 0.95 | 13,120 | 4000 | 89 | 103 | 1.1D |
| 1 1/4" - 2 1/2" (32-65 mm) | 1.15 | 16,700 | 5100 | 73 | 101 | 1.1D |
| 1 1/4" - 2 1/2" (32-65 mm) | 1.17 | 16,900 | 5150 | 76 | 107 | 1.1D |
| 2" - 3 1/2" (50-90 mm) | 1.20 | 17,000 | 5180 | 85 | 121 | 1.1D |
| 2" - 3 1/2" (50-90 mm) | 1.20 | 16,500 | 5030 | 105 | 150 | 1.1D |
| 2" - 3 1/2" (50-90 mm) | 1.24 | 17,100 | 5030 | 106 | 156 | 1.5D |
| 2" - 3 1/2" (50-90 mm) | 1.25 | 17,100 | 5250 | 82 | 125 | 1.5D |
| + 5" (127 mm) | 1.25 | 17,100 | 5200 | 76 | 116 | 1.5D (Bulk) |
| + 4" (100 mm) | 1.25 | 19,000 | 5790 | 78 | 115 | 1.5D (Bulk) |
| +3 1/2" (90 mm) | 1.28 | 16,220 | 4950 | 88 | 132 | 1.5D (Bulk) |

Tabla 3.2. Características Generales de algunos de los Productos de Emulsión.

3.7.2.6. Resistencia al agua.

La emulsiones agua–aceite tienen una continua fase agua–impermeable combustible y son extremadamente resistentes al agua. Ellas

no dependen de la integridad de un cartucho resistente del agua. Las emulsiones son una buena elección cuando se trabaja en barrenos con agua, debido a que ellas pueden prevalecer con sus características después de haber sido vaciadas en el barreno, por semanas e inclusive meses.

3.7.3. Combinaciones (Blends).

Las combinaciones son generalmente identificadas como mezclas de Emulsiones "Agua- en- Aceite" con ANFO (nitrato de amonio y fuel oil). Una definición más exacta puede ser:

"Una mezcla que consiste de (a) una matriz de material explosivo basado en agua y nitrato de amonio o ANFO; o (b) una matriz oxidante basada en agua y nitrato de amonio o ANFO. (IME SLP 12)."

Las combinaciones no son sensibles a la inclinación por medio de fulminantes y son usualmente clasificados por el departamento de transporte de "Agentes de Voladuras" de los Estados Unidos de Norteamérica con una clasificación UN de explosivos 1.5D, Voladura, Tipo E, N° 0332. Sin embargo, la industria comercial de explosivos está desarrollando explosivos con clasificación de 1.1D y muchas de las manufactureras tendrán esta composición de los próximos años.

El porcentaje de emulsión (u otra matriz oxidante o explosiva basada en agua) con respecto al ANFO, cubre el rango entero desde 1% de emulsión hasta el 99%, aunque las mayorías de las combinaciones se encuentran en el rango 20:80 a 80:20 de emulsión: Anfo. Las combinaciones que contienen menos del 50% de emulsión son llamadas algunas veces SUPER ANFO (HEAVY ANFO). En algunos casos, la emulsión mezclada con ANFO que contiene más nitrato de amonio puro (AN) de lo normal, con la finalidad de que la emulsión contenga suficiente aceite, para proporcionar un balance de oxígeno a la combinación final.

Los tres principales propósitos de las combinaciones son:

1. Incrementar la densidad del ANFO; Incrementar la energía en el barreno.
2. Proporcionar resistencia al agua al ANFO.
3. Reducir gastos.

Las combinaciones pueden ser mezcladas usando equipos especiales, los cuales han sido diseñados para asegurar el manejo eficiente del ANFO y el AN. La combinación final puede ser empaquetada o distribuida a granel.

3.7.3.1. *Energía de las Combinaciones.*

En las voladuras de rocas, la escogencia del explosivo puede hacer una diferencia significativa en el costo por tonelada por grado de fragmentación y en el manejo y procesamiento de la roca fragmentada. Las combinaciones proporcionan al planificador de la voladura, un amplio rango de densidades de explosivos y energía que pueden ser utilizadas para optimizar la voladura, incluyendo costos de perforación y voladura, costos de excavación y carga, costos de acarreo y trituración. Para poder realizar una escogencia sabia del explosivo a utilizar, es necesario entender los conceptos y leyes físicas, los cuales determinan la verdadera fuerza de un explosivo (Día, 1987).

La energía química liberada por un explosivo puede ser calculada usando las leyes de la termodinámica (Persson, 1994). Esta es llamada energía "Termo-química", y es la diferencia entre el calor producido por la formación de los productos de detonación y el calor producido por la formación de los ingredientes. Esta energía Q , representa la energía total termal de reacción, basada en las condiciones iniciales y finales de una atmósfera de presión y 25°C.

La energía Q para cualquier formación de un explosivo puede ser calculada basándose en los ingredientes y reactantes, estos son producto de la detonación y ellos respectivamente calientan la formación. El cálculo de Q de cualquier explosivo puede ser relacionado a la energía Q del ANFO, el cual da una “Fuerza relativa de peso” (Relative Weight Strength-RWS). Similarmente, la “Fuerza relativa a granel” (Relative Bulk Strength-RBS) o energía por unidad de volumen, puede ser obtenida a través de:

$$\text{Relative Weight Strength} = \frac{Q \text{ del Explosivo}}{Q \text{ del ANFO}} \quad (\text{Ec.3.6.})$$

$$\text{Relative Bulk Strength} = \frac{\text{Densidad del Explosivo}}{\text{Densidad del ANFO}} \times \text{RWS} \quad (\text{Ec.3.7.})$$

Cuando la energía liberada producto de la detonación es calculada en diferentes temperaturas y estados de presión de expansión, es decir, en condiciones previas a que los gases se expandan y enfríen todas las grietas a una (1) atmósfera y 25°C, se pueden obtener resultados de energía diferentes.

Este concepto de trabajo de expansión (Cook, 1958) está definido por:

$$\mathbf{A} = - \int_{V_i}^{V_f} p dv = Q - q \quad (\text{Ec.3.8.})$$

Donde \mathbf{A} es la energía termoquímica disponible entre el estado inicial del explosivo V_i (volumen específico en la condición inicial del explosivo antes que cualquier expansión tome lugar) y algún estado final V_f (volumen específico de los gases después de la expansión) diferente de una atmósfera y 25°C.

El trabajo de expansión \mathbf{A} , utiliza en este calculo parámetros tales como volumen del gas, calor de formación, presión, equilibrio químico, temperatura, capacidad de calor y una ecuación de estado. Este método

calcula la energía liberada entre diferentes estados de equilibrio en un isentrópico, adiabático de los gases de expansión de detonación.

A es quizás el indicador más realista del poder del explosivo, este muestra como la aproximación de los productos gaseosos del trabajo de expansión producidos, se expanden a través del retiro, desde las condiciones iniciales hasta un estado final donde los gases detienen el trabajo en la roca. La energía remanente en los gases, q , se pierde como el calor en la atmósfera.

En la figura 3.20 Energía disponible en función de un estado final de presión para el ANFO con una densidad de 0.82 gr/cc y para el HEAVY ANFO con una densidad de 1.30 gr/cc. Se puede observar en la figura de A vs. Presión, que el ANFO produce la mayor energía, si los gases expanden todas las grietas a una atmósfera de presión. Sin embargo, en 100 atmósferas de presión hay una pequeña diferencia entre el HEAVY ANFO y el ANFO, con una ventaja para el primero de estos. Para cualquier estado de presión final el HEAVY ANFO produce más energía por unidad de peso.

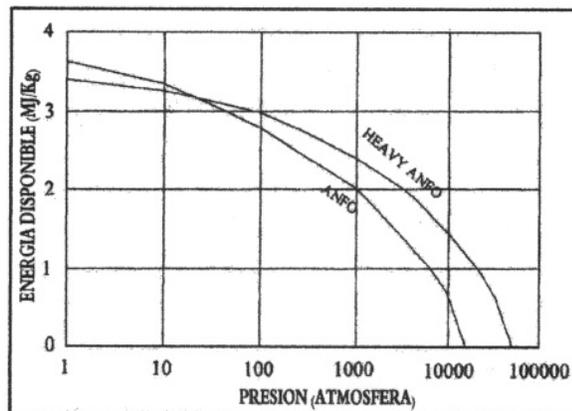


Figura 3.20. Estado final de Presión vs Energía disponible.

Es importante, ser capaz de entender estos valores de energía en los diferentes estados finales de presión, ya que estos ratifican que la fragmentación se inicia en las zonas de alta presión generadas por la

reacción del explosivo y se detiene mucho tiempo antes que la presión de los gases alcance una atmósfera.

En la tabla 3.3 se muestra las propiedades típicas de los explosivos de combinaciones de emulsión y ANFO. La fuerza relativa de peso disponible (Relative Available Weight Strength – RAWs) de un explosivo en la presión final deseada puede ser comparada con el ANFO, de una manera similar el cálculo de RWS se puede demostrar. De igual modo, la fuerza relativa disponible a granel (Relative Available Bulk Strength – RABS) puede ser calculada. De esta manera, se usa para calcular el valor de **A**, a una presión final dada para el explosivo y el ANFO. En la tabla se muestran los valores de **A** en una presión final arbitraria de 1000 atmósferas. Además se puede observar como el valor de RAWs incrementa cuando la densidad de la combinación incrementa.

| PRODUCTO | DENSIDAD ¹ g/cc | RESISTENCIA AL AGUA ² | Q ENERGÍA TERMOQUÍMICA (Mj/Kg) @ 1 atm y 25°C | A ENERGÍA DISPONIBLE ³ (Mj/Kg) @ 1000 atm | RAWs @ 1000 atm | RABS @ 1000 atm | PRESIÓN EN BARRENO (Katm) | VELOCIDAD DE DETONACIÓN ⁴ (ft/sec) |
|--|-------------------------------|-------------------------------------|---|--|--------------------|--------------------|---------------------------------|---|
| ANFO | 0.82 | 0.00 | 3.75 | 2.03 | 1.00 | 1.00 | 20 | 14,600 |
| HEAVY ANFO EMULSIÓN:ANFO | | | | | | | | |
| 20:80 | 1.05 | 0 | 3.55 | 2.19 | 1.08 | 1.38 | 33 | 16,400 |
| 25:75 | 1.13 | 1 | 3.50 | 2.25 | 1.11 | 1.52 | 37 | 16,900 |
| 30:70 | 1.20 | 2 | 3.45 | 2.30 | 1.13 | 1.66 | 42 | 17,400 |
| 35:65 | 1.25 | 3 | 3.40 | 2.32 | 1.14 | 1.74 | 46 | 17,700 |
| 40:60 | 1.30 | 4 | 3.35 | 2.36 | 1.16 | 1.85 | 50 | 18,100 |
| 45:55 | 1.35 | 5 | 3.30 | 2.38 | 1.17 | 1.93 | 54 | 18,400 |
| 50:50 | 1.30 ⁵ | 5 | 3.25 | 2.30 | 1.13 | 1.79 | 49 | 17,900 |
| 55:45 | 1.30 ⁵ | 5 | 3.20 | 2.27 | 1.12 | 1.77 | 48 | 17,700 |
| COMBINACIONES BOMBEABLES | | | | | | | | |
| 60:40 | 1.30 | 5 | 3.15 | 2.24 | 1.10 | 1.75 | 47 | 17,500 |
| 65:35 | 1.30 | 5 | 3.10 | 2.21 | 1.09 | 1.73 | 47 | 17,300 |
| 70:30 | 1.30 | 5 | 3.05 | 2.17 | 1.07 | 1.69 | 46 | 17,100 |
| 75:25 | 1.30 | 5 | 3.00 | 2.14 | 1.05 | 1.67 | 46 | 16,900 |
| 80:20 | 1.30 | 5 | 2.95 | 2.11 | 1.04 | 1.65 | 45 | 16,700 |
| ¹ La Densidad puede variar desde este valor hasta la densidad de los grillos AN y/o el porcentaje de finos. ² Escala de Resistencia al agua. 0 al 5 * 0 = no resistencia al agua. * 1 & 2 = suficiente resistencia al agua para barrenos húmedos cuando se carga y dispara. * 3 & 4 = suficiente resistencia al agua para barrenos húmedos. * 5 = excelente resistencia al agua. ³ La energía termoquímica calculada en la explosión final producto de la presión de expansión de 1000 atm. La mayoría de los tipos de roca se fragmentan en presiones mayor a las 1000 atm. ⁴ Calculada como velocidad de detonación ideal. Dividir por 3.28 para pasar a m/seg. ⁵ Densidad ajustable al valor deseado para control de la desidad. Este cambia la energía disponible, presión de barreno y la velocidad. | | | | | | | | |

Tabla 3.3. Características generales de algunos de los productos de combinación de emulsión y ANFO.

Las combinaciones de HEAVY ANFO usadas en la mina Paso Diablo tienen una relación 70:30 y 40:60 con una densidad igual para las dos combinaciones de 1,27 g/cc.

CAPÍTULO IV. MINCOM DRILL & BLAST MODULE

4.1. GENERALIDADES

El software Drill & Blast de Mincom es un módulo o producto que trabaja en Minescape, es por eso que antes de introducirse en la descripción de este módulo se debe dar una explicación de los aspectos que conforman el software Minescape.

4.1.1. Minescape.

Minescape es una recopilación integrada de software especializados en modelar minas, diseñada específicamente para la industria minera. Usando una arquitectura abierta, Minescape abarca todos los aspectos de información técnica de la mina, recabados de los datos suministrados por las perforaciones realizadas durante la planificación de la mina.

El principio del diseño de Minescape es la característica de sistemas abiertos y capacidad de expandirse. El ambiente de Minescape sostiene un número de funciones específicas que habilitan la creación interactiva, mantienen modelos geológicos tridimensionales detallados y permiten el diseño de minas. Un poderoso y dinámico sistema gráfico en 3D, visible a través de una ventada de CAD integrada, es el centro del sistema de Minescape.

Minescape está diseñado para el uso de todos los profesionales de la minería incluso agrimensores, geólogos e ingenieros mineros. La flexibilidad inherente de Minescape asegura su incondicionalidad en la planificación

tanto a largo plazo como a corto plazo en minas de carbón y depósitos metálicos. Minescape tiene una interfase intuitiva llamada Graphical Task interface (GTi), cuyo significado puede ser interpretado como interfase de tarea gráficas. Es una interfase de tareas dirigidas, que es fácil de usar y promueve prácticas de trabajo eficaces y además los requisitos de entrenamiento son mínimos.

4.1.1.1. *Plataformas de trabajo.*

Minescape corre en plataformas de UNIX que soportan el protocolo OpenGL:

- Silicon Graphics (SGI) estaciones de trabajo con CPU R4000 o superior.
- SUN estaciones de trabajo usando Solaris 2,5 como sistema operativo.
- NT4 o Windows 2000 al usar un servidor X.

4.1.1.2. *Proyectos.*

Todos los trabajos en Minescape son basados en proyectos. Generalmente hablando, un proyecto corresponde a un operador de sitios de minas o explorador de prospección. Los proyectos permiten una organización de trabajo lógica, de fácil acceso y dirección.

Minescape permite trabajar en sólo un proyecto a la vez aunque pueden accederse a datos de otros proyectos. No pueden cambiarse los proyectos durante una sesión de Minescape. Para cambiar los proyectos, simplemente termine el proyecto actual y selecciones un nuevo proyecto. Se pueden correr sesiones múltiples de Minescape simultáneamente.

Minescape puede configurarse para satisfacer cualquier tipo de ambiente en minería. Debido a su capacidad de modular. Minescape puede fácilmente adecuar las diferencias entre las funciones de diseño genéricas y los requerimientos prácticos de un sitio en específico.

4.1.3. Componentes de Interfase de Minescape.

4.1.3.1. La Ventana GTI.

La ventana GTi, es el frente extremo a su sistema de Minescape y proporciona facción y visualidad a los diferentes componentes de interfase del ambiente de Minescape. GTi (Graphical Interface Task) significa Interfase de Tareas Gráficas y consiste en una ventana básica que contiene un número de usuarios configurables.

4.1.3.2. “Páginas”.

“Páginas” son un grupo de ventanas que ejecutan funciones específicas y son desplegadas en la ventana GTi. Más de 32 “Páginas” pueden ser desplegadas concurrentemente en la ventana GTi, dependiendo de la capacidad RAM del equipo en que se trabaja. Existen dos tipos genéricos de “Páginas”.

- Páginas de Minescape: proporcionan funcionalidad a Minescape (por ejemplo el modelado de la mina). El área de trabajo central de una página puede desplegar gráficos en una o más ventanas CAD. También pueden desplegarse otras utilidades de Minescape en esta área. Cada producto autorizado tiene una página correspondiente la cual ponen en funcionalidad a dicho producto.
- Páginas de Monitor: proporcionan servicios de monitoreo y control a módulos ejecutados durante las sesiones de Minescape y se

comunica directamente con el servidor del módulo de Minescape. Las páginas centrales de trabajo despliegan módulos dependiendo del lote en que ellos se encuentran en ejecución. La información detallada para cada uno de los módulos se obtiene fácilmente. La página también incluye los mandos de ver, pausa, terminado y reiniciado del módulo en ejecución e interacciona recíprocamente con el módulo del servidor.

4.1.3.3. *Ventana CAD.*

La ventana CAD (Computer Aided Design; Ayudante Diseñador del Computador) despliega una vista en tres dimensiones de los gráficos de Minescape. El subsistema CAD del GTi, es propio del despliegue gráfico de Minescape e incorporado a una idioma de programación avanzado y arquitectura del servidor, proporcionan un completo editor CAD y servicios gráficos de la data.

4.1.3.4. *Formas.*

Son ventanas independientes que despliegan parámetros relevantes y datos, para una tarea u operación en particular de Minescape. Las formas permiten ver e interactivamente manipular parámetros y someter módulos en ejecución.

4.1.3.5. *Menús.*

Las Páginas de Minescape y las Formas son rasgos estándares jerárquicos de la estructura del menú.

4.1.4. Lenguajes de Programación.

4.1.4.1. MPL.

Minescape Programming Language (Lenguajes de programación de Minescape) o MPL, es una aplicación de alto nivel del lenguaje de programación para escribir programas (conocido como Comandos del Usuario) que interactúa recíprocamente con la data y módulos de Minescape. MPL incluye muchas funciones específicas las cuales son referidas internamente como verbos MPL.

4.1.4.2. Acción MPL.

Es una forma de comprimir que se deriva del MPL estándar. Permite a los programas (conocidos como acciones) escribir eslabones de interfase de Minescape a funcionalidades subyacentes.

Los verbos de AcciónMPL pueden ser referidos en programas que proporcionan el acceso conveniente a muchas características del software Minescape.

4.1.5. Módulos.

Estos son programas discretos de Minescape que son utilizados para crear, importar, exportar y calcular datos complejos. Los funcionamientos del Módulo Base son reservados para procesos complejos tales como el modelado, contorno y el cálculo de volúmenes.

Todos los módulos corren exactamente por la interfase GTi, de Minescape.

4.1.6. Bibliotecas y Herramientas.

4.1.6.1. “Minelib”.

“Minelib” es una biblioteca orientada hacia la minería que proporciona un API para:

- Datos de Superficie
- Datos de GRIP
- Tablas de datos de dirección y hojas de edición
- Herramientas de diseño par minería
- Banco de datos para minería
- Herramienta de Coordinate Geometry and Graphics Output (COGO) Coordinador Geométrico y de Gráficos de Salida.

4.1.7. Productos de Minescape.

Un producto es un software especializado de entrada de datos, el cual transparentemente ingresa información en las aplicaciones de Minescape. Estos software extienden sus aplicaciones y proveen funcionalidades adicionales y específicas a operaciones particulares (por ejemplo el modelado estratigráfico y plan de mina subterráneo). Los diversos productos existentes usan el centro de arquitectura de Minescape, programas, bibliotecas y herramientas. La repetición de los datos se evita usando las mismas estructuras de datos.

4.1.7.1. *Productos Disponibles.*

Los productos disponibles con los que cuenta Minescape son:

- Blasthole Database
- Block Model

- Drill Hole Database (GDB)
- MineStar Designer
- Dragaline
- **Dril & Blast**
- Grade Blocking
- Minescape
- Open Cut Coal (Including Reclamation)
- Roads
- Schedule
- Stramodel
- Survey
- Underground Coal

4.1.8. Tipos de datos de Minescape.

Entre los tipos de datos que maneja el software Minescape encontramos un grupo muy importante. Este grupo se conforma por archivos de diseño, grid (rejillas) y de tabla.

También existen otros tipos de archivos no tan relevantes como los nombrados con anterioridad, debido a que su estructura depende de una combinación de éstos. Los otros archivos con los de triángulo, de superficie y bloques de minería.

4.1.8.1. Archivo de Diseño.

Un archivo de Diseño almacena datos de gráficos tridimensionales para mostrarlos en la ventana CAD. Los datos del archivo de diseño pueden ser manipulados en CAD, por módulos y por comandos de usuario. Un archivo de diseño consiste en un número de elementos gráficos creados por

coordenadas X, Y y Z (3D), donde dichos elementos se encargan de desplegar atributos y datos asociados a estas coordenadas. Cada elemento gráfico puede ser visto y manipulado independientemente o acompañado con otro elemento gráfico.

Los archivos de diseño permiten la entrada de datos de superficie, de perforaciones geológicas, mapas, planos, etc. Además permiten las entradas de data del Software AUTOCAD. Muchos de estos datos usualmente son utilizados para producir contornos, secciones, mallas, gráficos, mapas y planos.

Cada proyecto, puede contener diversidad de archivos de diseño. Los archivos de diseño son creados dentro de los proyectos y almacenados en directorios de diseño, además son identificados por la terminación .dgn.

Componentes de un Archivo de Diseño

Los datos en un archivo de diseño son almacenados como capas (grupos) independientes dentro de las cuales se almacenan elementos. Cada elemento pertenece a una particular clase de elemento y tiene una única identidad. La apariencia de un elemento es modificada por los atributos que controlan esta apariencia. Esta relación es una evidencia en el próximo ejemplo donde un polígono es dibujado usando CAD. Los pasos son:

- Crear un archivo de diseño.
- Abrir el archivo de diseño.
- Crear una capa dentro del archivo de diseño.
- Hacer que dicha capa sea la capa activa (current). Cualquier elemento que se cree será registrado dentro de esta capa.
- Dibujar un polígono en la ventana CAD. El polígono es creado dentro de la capa activa (current) creada en el paso anterior.

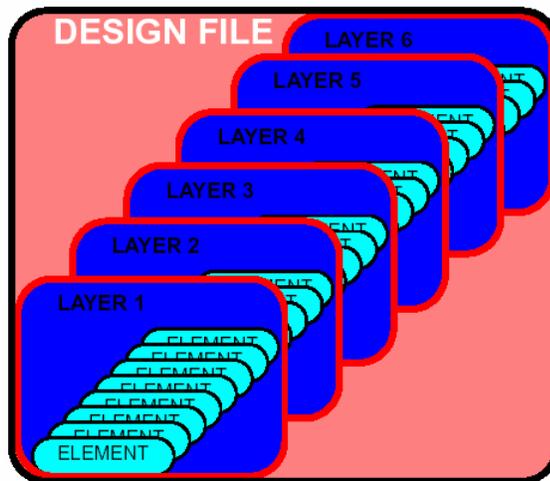


Figura 4.2. Jerarquía dentro de un Archivo de Diseño

El color, el tipo de línea, el grosor de la línea, la rugosidad de la línea, tipo de relleno, el tamaño del relleno y el ángulo del relleno, son atributos del polígono que pueden ser modificados de requerirse. La figura 4.2 ilustra la jerarquía dentro de un archivo de diseño.

Capas (LAYERS)

Un archivo de diseño puede contener solo una capa o un grupo de capas. Las capas son niveles independientes de información dentro de un archivo de diseño que permite graficar y asociar datos a ser almacenados. Una capa puede ser transferida de un proyecto a otro. Como una transparencia, una capa puede ser transpuesta sobre otra capa, de modo de poder diseñar con mucho más detalles, lo que suministra un sinfín de niveles de información vistos simultáneamente. De forma similar se puede ver sólo una capa a la vez. También se puede desplegar cualquier combinación de capas que el diseñador requiera, permitiéndose adicionar o remover capas de la ventana CAD, independientemente una de la otra. Las capas proveen una tremenda flexibilidad para ver datos gráficos en la ventana CAD, como lo ilustra la figura 4.3.

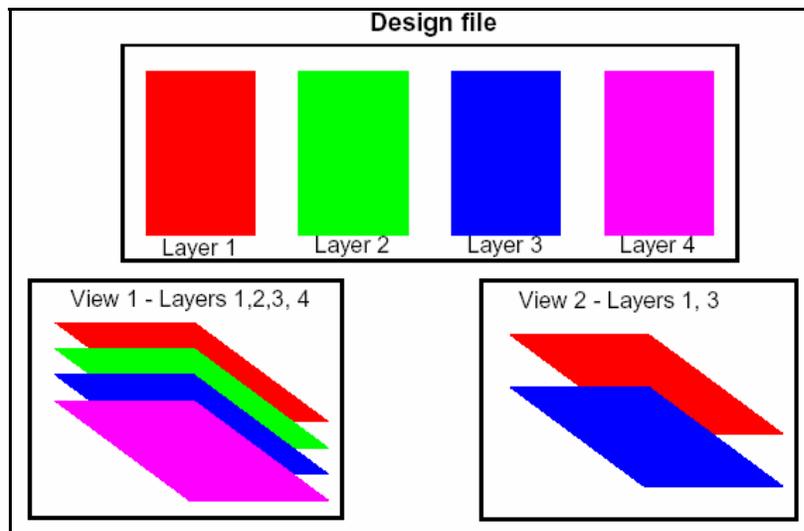


Figura 4.3. Flexibilidad de las capas de Minescape

Un archivo de diseño puede contener hasta 1000 capas, numeradas de 0 hasta 999 (las capas 1000 a 1023, son grupos especiales utilizados por el subsistema CAD). Cada capa es identificada por:

- Número de Capa.
- Nombre de Capa (Opcional).
- Título de Capa (Opcional).

Elementos

Los datos son almacenados en una capa como una serie de elementos. Cada uno de estos elementos tiene una clase de objeto asociado. Las siguientes clases de elementos están presentes en Minescape.

(a) Cadena de Puntos (Point string); Una cadena de puntos es usada para almacenar un grupo de puntos no relacionados que son representados gráficamente por una serie de marcas o símbolos. La cadena de puntos puede ser usada para almacenar, por ejemplo:

- Elevaciones.
- Localización de perforaciones.
- Características de un sitio en específico.

Cada vértice o coordenada puede ser considerado independiente y agrupadas, dentro de un elemento, meramente por conveniencia y como mecanismo de reducción de almacenamiento. Más de 2000 puntos de datos pueden ser almacenados en solo elemento de cadena de punto dependiente de la definición del objeto real.

(b) Cadena de Línea (Line string): Una cadena de línea es un grupo de puntos conectados, representados gráficamente por una serie de líneas y marcas o símbolos opcionales. La secuencia de estos puntos es un atributo inherente de la data. La cadena de línea puede ser usada para almacenar, por ejemplo:

- Líneas de contorno.
- Secciones horizontales
- Crestas y pies de escombreras.
- Vías y características en general.

Más de 1000 puntos de datos conectados pueden ser almacenados en un solo elemento cadena de línea dependiente de la definición del objeto real.

(c) Polígonos: Un polígono es un grupo de puntos conectados que encierran un área. Esta área puede ser representada gráficamente como un relleno y/o una serie de líneas y marcas o símbolos opcionales. Los polígonos pueden ser usados para almacenar, por ejemplo:

- Límites de planes de mina
- Cara de sólidos
- Diseño de bloques

Un polígono puede también ser usado para sujetar otros datos, son usadas en la determinación de volúmenes, y puede ayudar a proveer información detallada acerca de un área encerrada. Más de 1000 puntos de datos conectados pueden ser almacenados para encerrar el área deseada dependiente de la definición del objeto real.

(d) Cadena de Texto (Text string): Una cadena de texto contiene un grupo de caracteres informativos que son gráficamente representados como una serie de líneas suavizadas predefinidas por las fuentes. La definición de fuente en la ventana CAD y el ploter, son correctamente confeccionadas por el programa y no puede ser modificada. La cadena de texto puede ser usada para:

- Títulos y Descripciones
- Dimensiones
- Identificación de características en general

4.1.8.2. Archivos Grid (Rejilla).

Un archivo Grid es un archivo especificado para almacenar datos. Típicamente un archivo Grid consiste de una o más “rejillas” de datos. Adicionalmente, cada “rejilla” puede contener una o más subrejillas. En cartografía, una “rejilla” es una red de líneas horizontales y verticales sobrepuestas en un mapa o plano y usada para ayudar en la especificación o localización de puntos. En Minescape, los Grid proveen un mecanismo para almacenar datos, por medio de localización por coordenadas X y Y. Estos Grid también le permiten a Minescape representar datos en un patrón rectangular. En este formato, los datos pueden ser más fáciles y rápidos de interpolar. Los Grid consisten regularmente de grupos paralelos espaciados de líneas ortogonales. La intersección de estas líneas ortogonales crea las celdas de las “rejillas”. El tamaño de cada celda es idéntico. Minescape permite que los datos que no están en esta “rejilla” puedan ser importados e interpolados para así representarlos, y almacenarlos como un archivo Grid. El tamaño de la interpolación de los datos dentro de las rejillas puede ser establecido en las especificaciones del Grid. Un archivo Grid puede ser exportado, copiado, combinado y producido.

Ajustes del Grid

(a) Especificaciones del Grid: Los datos de los archivos Grid son almacenados en cada nodo del Grid por medio de unas especificaciones, las cuales determinan la densidad de los datos almacenados en una “rejilla”. Si una celda de gran tamaño es definida, la densidad de datos es más bajo que el de una celda de menor tamaño. Los datos a hacer “enrejados” pueden ser introducidos al mismo tiempo que el Grid es creado o en una operación subsiguiente. Un Grid definido para almacenar datos específicos, puede ser usado para almacenar especificaciones que se usaron para definir la “rejilla”.

(b) Conceptos del Grid: Un Grid de Minescape consiste en un número de celdas de rejillas de forma rectangular, colocadas en filas y columnas ortogonales, separadas por líneas de “rejilla”. La intersección de cada línea ortogonal es conocida como un “Nodo” de la “rejilla”.

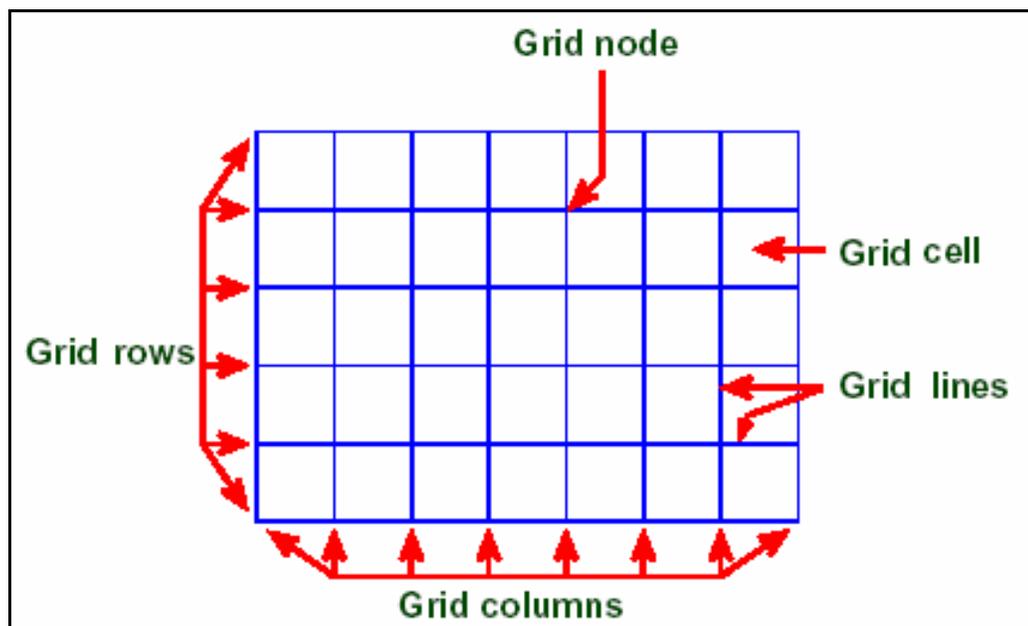


Figura 4.4. Componentes de un Grid.

Los Grid almacenan datos espaciales en un formato regular, en los nodos. Los valores de la “rejilla” son creados por interpolaciones de los datos

originales sobre la red de nodos de la “rejilla”. El eventual espaciamiento de distribución de los datos de un archivo Grid, permiten tener rápido acceso por Minescape.

Sin embargo, alguna resolución puede ser extraviada cuando se usan Grids. El número de filas y el número de columnas dentro de una “rejilla” no tiene porque ser igual. Por ejemplo, una “rejilla” que tenga 70 filas puede tener 39 columnas.

(c) Concepto de “Subrejillas”: Las “rejillas” pueden ser rotadas para alinearse con la distribución de los datos, además tienen un mosaico de “subrejillas” solapadas que pueden tener una celda de diferente tamaño a la “rejilla” principal. Las “Subrejillas” son especificadas dentro de (o afuera de) un área encerrada por límites o un polígono.

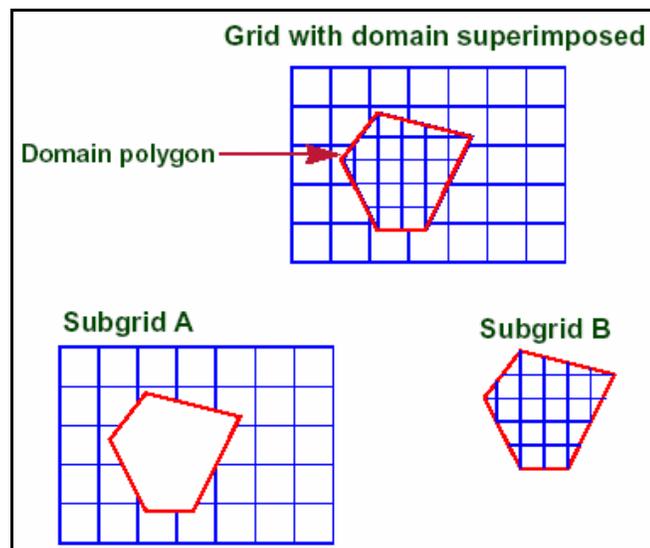


Figura 4.5 Grid (Rejillas) y “Subrejillas”

(d) Origen y Orientación del Grid: La posición de una “rejilla” está determinada por el origen del mismo y su orientación está determinada por la rotación del ángulo. Por convención, el origen de la “rejilla” está definido en la esquina posterior–izquierda. El ángulo de rotación definido es aquel entre la “rejilla” y el eje X. Los valores positivos del ángulo se miden en sentido

contrario a las agujas del reloj a partir del eje X. La orientación y origen de la “rejilla” se establecen en las especificaciones del Grid.

4.1.8.3. *Archivo de Tabla.*

Estos archivos son usados para almacenar datos tabulares o tablas, y provee un mecanismo conveniente para almacenar irregular (no espacial) datos, como por ejemplo datos sobre calidad de carbón y otros colectores de datos, usados para puntos de muestras. Una tabla es generada con columnas nombradas y filas asociadas de datos, dichas tablas son creadas como hojas de cálculo, las cuales pueden ser utilizadas por programas adicionales, tal como Microsoft Excel.

Para permitir al usuario ver y manipular datos de archivo de tablas, Minescape incluye un editor gráfico de tablas, conocido como el “Editor de Tabla”. El Editor de Tabla es similar a una hoja de cálculo estándar, el cual permite fácil acceso y editado de las finas de tablas de datos.

Las filas de tablas de datos son usadas extensamente en Minescape para diversos propósitos. Por ejemplo, éstas pueden ser utilizadas para:

- Datos para un Grid (por ejemplo, calidad del carbón)
- Dibujar datos fijos en una línea de diseño
- Dibujar gráficos de presentaciones en 2D (mapas, secciones, etc.)
- Colectar estadísticas acerca de columnas
- Crear reportes desde el almacenado de datos en la tabla.
- Almacenar datos de superficies en coordenadas polares.

Características de las Tablas

Un archivo de tabla consiste en un grupo de constantes, ubicadas en la cabecera de la tabla, seguido por datos que contienen más de 2500 columnas y un número infinito de filas (limitadas solamente por el espacio del disco duro del PC).

Las tablas de Minescape tienen las siguientes características:

- El nombre de la tabla puede albergar un máximo de 16 caracteres
- Hasta 500 constantes pueden ser almacenadas como títulos de las tablas.
- Un grupo de más de 2500 columnas, cada una contiene:
 - Un nombre, con un máximo de 16 caracteres
 - Una descripción, con un máximo de 32 caracteres
 - Una unidad de categoría y una unidad de nombre
 - Un tipo (cadena o carácter, real, doble (precisión) o numérico, entero, o lógico).
 - Un nombre de columna principal, si se requiere para average de peso.
- Un infinito número de filas (restringidas solamente por el espacio del disco duro del PC).

| | | Table columns | | | |
|------------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| | | Col 1 | Col 2 | Col 3 | Col n |
| Table rows | Row 1 | | | | |
| | Row 2 | | | | |
| | Row 3 | 162.8 | 56.7 | 57.0 | n |
| | ... | | | | |
| | Row n | | | | |

Figura 4.6 Estructura de un Archivo de Tabla

4.2. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

El sistema Drill & Blast ha sido desarrollado para proveer al diseño de ingeniería de voladuras un grupo de herramientas interactivas de Minescape que permiten a la ingeniería genera fácilmente un óptimo diseño de voladuras en minas superficiales. El diseño de voladuras subterráneas puede ser realizado por un sistema distinto. Una vez que el patrón ha sido diseñado, la cantidad de explosivos puede ser computada de diferentes maneras y adaptada a un sitio en particular ó a los requerimientos del proyecto. La distribución de las cargas se puede plotear por separado del diseño e introducirlas luego en el terreno donde se realizará la perforación y voladura. El modelo geológico o las distancias por debajo de los barrenos, se pueden usar en el diseño, para determinar la distribución de las cargas y los retardos, que son de importancia para el cálculo de la carga y los explosivos. Existe la posibilidad de definir un grupo de puntos importantes dentro del bloque a volar que pueden ser marcados en la superficie por un tipógrafo.

Para esas minas que usan barrenos para el control de calidad, el diseño de las voladuras puede ser pasado directamente al departamento de control de calidad, es decir, el software permite manejar tanto el diseño de las voladuras como el control de calidad de la mina. Posteriormente que se determine la calidad de las muestras para control de calidad, estas pueden ser cargadas dentro del bloque a perforar, para su uso posterior en el diseño de las voladuras. El automático nombramiento y numeración de los barrenos permiten una fácil localización de éstos y también permite que se puedan variar los escenarios del diseño de control de calidad.

La topografía para la perforación de barrenos en muchas minas varía con respecto al diseño, el software tiene la capacidad de proyectar estos barrenos del diseño original a la topografía real de la zona, con simplemente la utilización de las herramientas adecuadas. Los barrenos pueden ser

modificados por las transformaciones “Lauf” ó “Helmert”, o el movimiento individual de los barrenos que automáticamente proyecta los barrenos a la superficie real. Adicionalmente los barrenos pueden ser ajustados por topografía y trasladados a su posición real con el simple uso de una herramienta.

El procedimiento a seguir para la creación del diseño de voladura puede ser resumido en diversos pasos, inicialmente, es necesario determinar un grupo de datos preestablecidos que servirán para definir un patrón a seguir en el diseño de las voladuras. Después de preestablecer estos datos se deben seguir los siguientes pasos:

- Crear un polígono límite de la voladura que define las dimensiones de la voladura.
- Diseñar los barrenos
- Producir los barrenos en tres dimensiones
- Generar la distribución de las cargas y los puntos de intersección de las cargas dentro de los barrenos (carga de fondo, taco, carga de cuello, espacio de protección del mineral).
- Los datos topográficos como posicionamientos de los barrenos pueden ser modificados sí se requiere.

Existen herramientas de importación y exportación de datos de otros software (Autocad, Excel, Aquila, etc.). El sistema “Drill & Blast” hace uso extensivo de objetos de archivo de diseño, en el cual se almacena informaciones importantes. Grupos especializados de menús de Minescape pueden ser usados para trabajar con el diseño de la voladura.

Bajo ninguna circunstancia las funciones estándares de Minescape pueden ser usadas para editar, copiar, crear o borrar los objetos de la voladura. Solo usa un grupo de comandos especiales, que pueden ser usados en los diseños, para mantener la integridad del diseño de la voladura.

4.2.1. Estructura (Set up) del Sistema “Dril & Blast”.

4.2.1.1. Definición del Patrón de Perforación.

Antes de establecer el patrón de perforación, es necesario entender como funciona éste.

Sobre el icono de “Layout Holes” (Diseño de Barrenos) en Minescape, al usuario se le pregunta cómo definir la línea base que soporta las filas del patrón. Una vez que el soporte es definido, un patrón de perforación realizado es fijado al puntero del ratón y puede ser arrastrado y ubicado en la posición que se desea. Una vez ubicado, los barrenos son generados dentro del polígono límite seleccionado.

El patrón de perforación no necesariamente requiere que tenga un espaciamiento o retiro constante, pero puede variar de fila a fila. El patrón de perforación es almacenado en la memoria con sus especificaciones, categoría Drillespec. La figura 4.7 ilustra la nomenclatura usada en la definición del patrón de perforación.

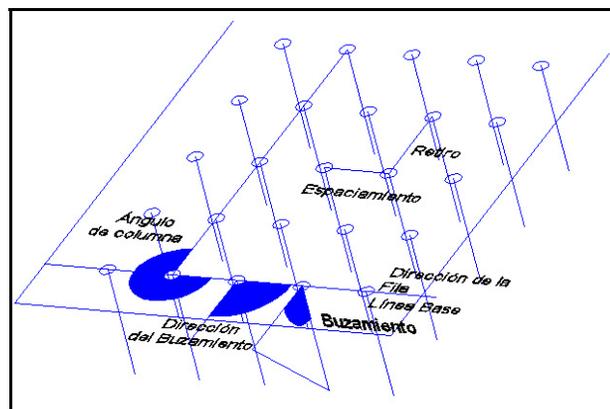


Figura 4.7 Nomenclatura del Patrón de perforación.

Un máximo de cien (100) patrones se pueden definir de la siguiente manera:

1. Nombre del Patrón: es el nombre del patrón de perforación.
2. Controles:
 - a. Barrenos Mayores y Menores: los barrenos mayores son esos hoyos cuyas coordenadas pueden ser reportadas y escritas, para usarlas en una tabla de datos de salida de topografía.
 - b. Repetición de Barrenos Mayores: esto se refiere a la generación automática del conteo de referencia de los barrenos mayores. Un barreno mayor es generado cada n hoyos. Si un barreno mayor no se encuentra, todos los hoyos son barrenos menores. El barreno tipo puede ser cambiado interactivamente de mayor a menor y viceversa en Magicad.
3. Dimensiones del Patrón: 20 filas máximas pueden ser definidas. La definición del un patrón cambia en cada entrada de “Star Row” (comienzo de Fila) y es aplicada a las filas sucesivas. Un cambio en las dimensiones del retiro es aplicado a la fila subsiguiente.
 - a. Star Row: significa el comienzo de la fila del patrón de perforación. Si un valor cero (0) es introducido, el patrón es fijado al puntero del mouse. Si uno (1) es introducido, el patrón es fijado un retiro adicional al puntero del mouse.
 - b. Retiro, es la distancia perpendicular entre filas.
 - c. Espaciamiento, es el espacio entre barrenos de la misma fila.
 - d. Buzamiento de los barrenos: inclinación del barreno, 0° es horizontal y 90° es perpendicular a la horizontal
 - e. Dirección de Buzamiento: es el ángulo horizontal medido en el sentido de las agujas del reloj, desde la línea base del patrón hasta el azimut del barreno. De aquí se determina el azimut de los barrenos, el cual es la suma desde la línea base del ángulo de dirección del buzamiento.
 - f. Ángulo de Columna: se mide en el sentido de las agujas del reloj a partir de la línea base. Este carácter no permite patrones

equiláteros y si permite definir cualquier patrón requerido. Si un ángulo es menor a 180° , el patrón es arrastrado hacia la derecha de la línea base. De aquí que, el ángulo de la columna se define como el soporte de la columna con respecto a la línea base.

- g. Diámetro del Barreno: de no encontrar data del diámetro del barreno utilizaría un valor predeterminado.
- h. Profundidad del Barreno; indica la profundidad con respecto a la superficie hasta la que se quiere perforar los barrenos.

4.2.2. Generación de un Diseño de Voladura.

Para generar un diseño de voladura en Dril & Blast se deben de seguir los siguientes pasos

1. Crear voladura
2. Diseñar los barrenos
3. Generar polígonos de influencia para propósitos de volumen
4. Interceptar la localización de los barrenos con la superficie, intervalos y puntos señalados.

4.2.2.1. Crear voladura.

Antes de diseñar los barrenos, un dominio de la voladura debe ser creado (dominio significa polígono límite). Este polígono define el área total efectiva de la voladura. Ningún barreno puede ser generado fuera de este polígono. El polígono límite con trola el área usada en la voladura para la estimación del volumen a volar.

Los pasos que se requieren para crear el dominio de la voladura son los siguientes:

1. En el icono de DRAW (Dibujar) de Dril & Blast se pueden generar los polígonos de influencia, ya sea rectangular, circular, paralelogramo o libre.
2. Una vez realizado el polígono de influencia se procede a generar la voladura, para lo cual es necesario, entrar en el icono de CURRENT (Actual), en donde se encuentra la opción CREATE BLAST (Crear Voladura), ver figura 4.8, que se encarga de crear un archivo en donde se diseñará la voladura. Después de haber ingresado el nombre del archivo, el software preguntará cuál es el polígono de influencia de la voladura, se procede a marcar con el puntero del mouse el polígono que se realizó en el punto anterior, después se registra en la data del archivo de la voladura.

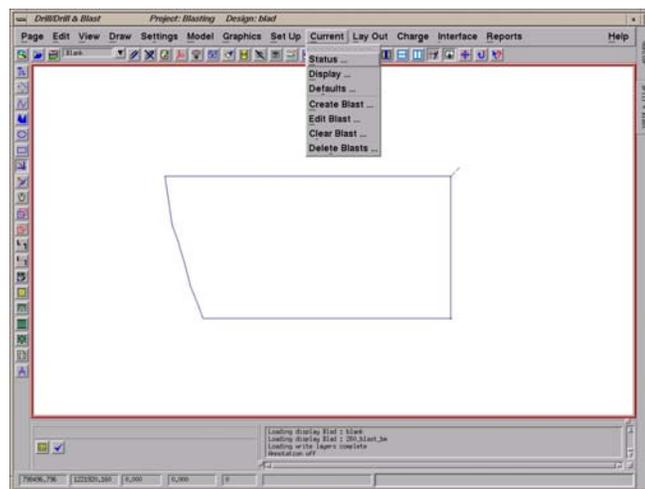


Figura 4.8 Creación de Polígono Límite y voladura.

4.2.2.2. *Diseñar los barrenos.*

Una vez creada la voladura, los barrenos pueden ser diseñados sobre la voladura. Como se mencionó con anterioridad, la generación de los barrenos sólo ocurre dentro del dominio de la voladura, pero este puede ser limitado nuevamente por la intersección de otros polígonos y el dominio de la

voladura. Este carácter permite la generación de barrenos cerca de las esquinas, donde la dirección de las filas puede ser cambiada. Esta es una importante herramienta de uso para la asistencia en la generación de los polígonos límites.

Los pasos a seguir para generar los barrenos son los siguientes:

1. Crear un polígono límite extra (Generalmente el polígono de influencia de la voladura, es el polígono que se utiliza para genera el polígono límite del patrón de perforación de los barrenos).
2. Agrupar los valores predeterminados. Los valores importantes son:
 - a. Máximo de Filas
 - b. Continuidad de Fila
 - c. Continuidad de Columna
 - d. Patrón de Perforación
 - e. Estilo de Patrón
3. Dentro de la pantalla principal del software se encuentra un icono denominado LAYOUT (Diseño), como sub-comando de éste icono se encuentra layout Holes, que significa diseño de los barrenos. El cual se debe seleccionar para poder realizar el diseño de los barrenos. Posteriormente, se muestra un recuadro de verificación de características del patrón de perforación, dichas características se mencionan en el paso dos (2).
4. Luego de verificar las características del patrón de perforación de los barrenos, se pregunta primero, cuál es la línea que determina la dirección de las filas del patrón, para lo cual es necesario introducir con el puntero del mouse, el punto de inicio y final de la línea; segundo, se seleccionan dos puntos del polígono que delimita al patrón de perforación de los barrenos (polígono de influencia de la voladura, por lo general); tercero, se selecciona una línea o polígono que ordene el patrón de perforación con la línea de dirección definida con anterioridad (esta línea o polígono de ordenamiento tiene que

estar ubicada frontal a la línea de dirección); y cuarto, se presiona la letra “Q” para terminar el diseño y automáticamente aparece el patrón anexo al puntero del mouse, seleccionando su lugar dentro del polígono límite (sí el número de perforaciones excede el polígono límite, solo aparecerán aquellas perforaciones que se encuentren dentro de dicho polígono). Ver figura 4.9.

5. La numeración de los barrenos se realiza de forma automática.

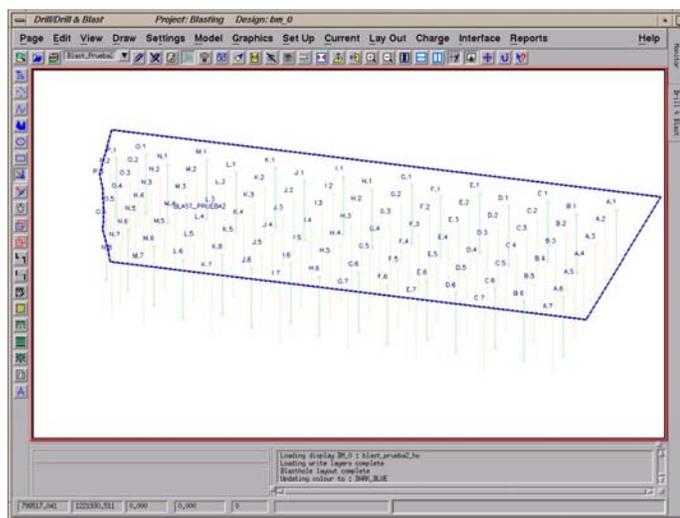


Figura 4.9. Diseño de los Barrenos.

4.2.2.3. Generar los Polígonos de Influencia.

Después de precisar el patrón de perforación, es necesario conocer la influencia con motivos de calcular el volumen a volar, lo cual se denomina polígonos de influencia, generalmente se definen con polígonos que se determinan por la mitad de la distancia que existe entre barrenos. Para generar estos barrenos con el software, es muy importante haber determinado con anterioridad el patrón de perforación, y cumplir con los siguientes pasos:

1. Ingresar en el icono LAYOUT y seleccionar el sub-comando Areas of Influence (Áreas de Influencia).
2. Una vez que se entra al sub-comando áreas de influencia, se debe seleccionar Calculate (Calcular) y automáticamente determina los polígonos de influencia (ver figura 4.10).

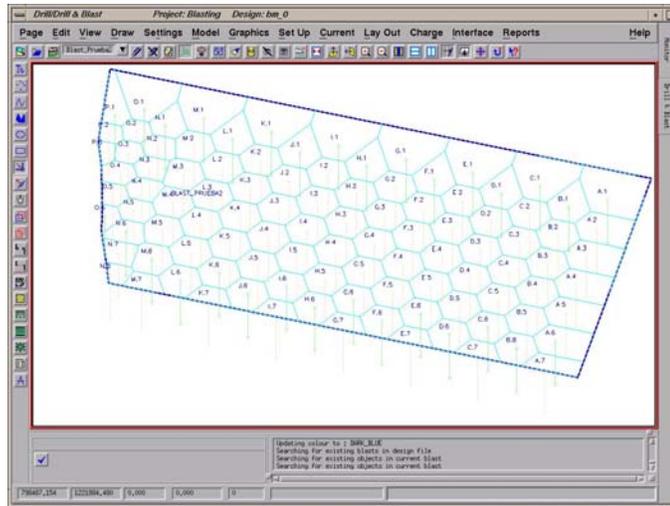


Figura 4.10 Polígonos de Influencia.

4.2.2.4. *Proyección de barrenos con la superficie, intervalos y puntos señalados.*

Una vez que la voladura ha sido diseñada, es necesario procesar el patrón de perforación de los barrenos en tres dimensiones, para poder localizar el patrón con más facilidad sobre la superficie real, y así determinar las intersecciones con superficies de mantos de mineral, superficie, etc. Estas intersecciones son de vital importancia para poder calcular las cargas de explosivos, taco, cantidad de explosivos, distribución de las cargas, etc. La información de los barrenos es transferida a una tabla. En la figura 4.11 se observa un barreno tipo mostrando las superficies y sus definiciones.

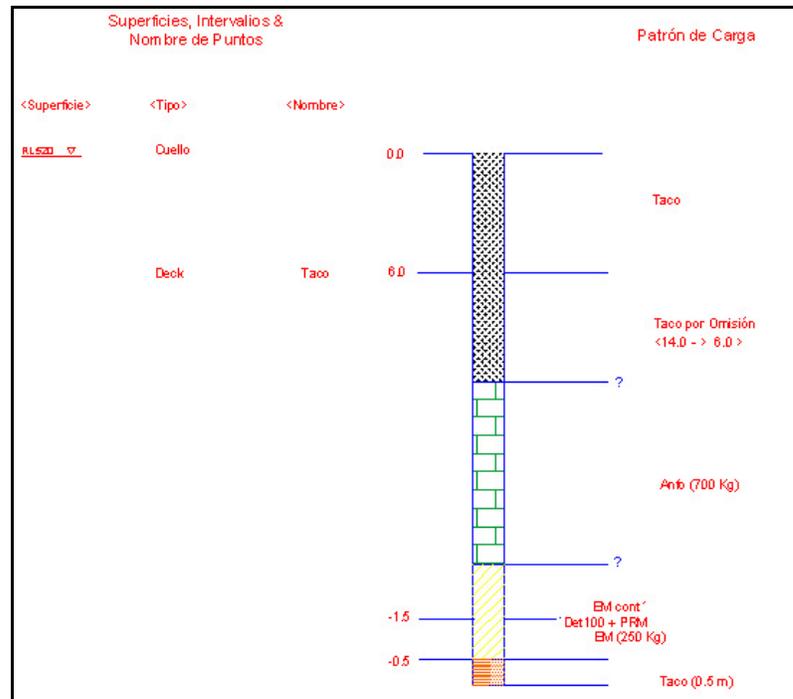


Figura 4.11 Barreno y Superficies de Intersección

Para proyectar los barrenos es necesario cumplir con los siguientes pasos:

1. Datos de Entrada (Input):

- Diseño de la voladura: asignar un archivo que contenga el diseño de la voladura.
- Nombre de la Voladura: es el nombre del diseño de la voladura. Solo una voladura puede ser procesada a la vez.

2. Superficies:

- Corte del tope de la superficie: es el tope límite de la superficie. Esta superficie es la referencia en donde ocurre la proyección.
- Corte del fondo de la superficie: es el fondo límite de la superficie. La proyección de los barrenos no puede ser procesada a partir de este punto. Esta superficie también determina la dirección de la proyección. Por esto, si esta superficie está sobre el tope de la superficie, la proyección puede observarse volteada.

- Superficies de intersección: cualquier superficie original puede ser insertada en la columna del barreno. El nombre y tipo (superficie en este caso) de las intersecciones deben ser registrados. El tipo de marca que se proyecta en el barreno es definido en el display.
 - Inclusión de intervalos: cualquier intervalo puede ser insertado en la columna del barreno. Si un intervalo es interceptado, el segmento de línea atribuida a ese intervalo, coincide con la definida en el display. Los tipos de intersecciones son definidos por Roof (techo) o Floor (piso), dependiendo del tipo, y el nombre de la intersección en ese intervalo.
3. Puntos adicionales: Son puntos que no corresponden a ninguna superficie o intervalo, y pueden ser insertados en los barrenos. Los puntos son especificados por las profundidades a partir del cuello. Su principal función es localizar decks (vacíos) y retardos en el barreno: Máximo 20 puntos pueden ser especificados.
- Puntos: un punto de nombrado. Un carácter máximo de 16.
 - Tipo: tipo de punto, Puede tener uno o dos valores. Decks o retardo.
 - Superficie: un punto en la que la superficie puede ser medida. La superficie puede ser definida en la sección de Superficies de la pantalla.
 - Distancia: un punto por debajo del barreno medido desde el cuello (sí + ve) o desde el fondo del barreno (si – ve). Si una superficie ha sido definida, la distancia bajo el barreno (si + ve) o por arriba del barreno (si - ve) desde la superficie.
4. Controles: Valores que controlan la generación de los barrenos.
- Control de Profundidad Máxima: controla el efecto de la profundidad máxima del barreno. Si la distancia por debajo del barreno entre el tope u el fondo es mucho mayor que la profundidad, el barreno es truncado en la profundidad. Si la

conversión es verdadera, el barrenado es detenido en el fondo de la superficie. Puede ser uno de los siguientes:

- Ninguno: el valor de la profundidad máxima es ignorado y los barrenos comienzan en el tope de la superficie y finalizan en el fondo de la superficie.
 - Predeterminado: los valores predeterminados se ingresan en la pantalla y son usados como valores de máxima profundidad.
 - Barrenado: la máxima profundidad es almacenada en el barrenado y usada como valor máximo de la profundidad.
- Predeterminada profundidad máxima: este valor es usado cuando el control está predeterminado en layout holes.
 - Display definiciones: las definiciones del display predeterminadas pueden ser usadas cuando las definiciones del display para una superficie, intervalo y/o punto, no están definidas.
 - Modificado un barrenado: si es verdadero, el gráfico de los barrenos son modificados para reflejar la proyección. Si es falso, solo una salida de tabla es producida. Si los cálculos de los explosivos se realizan, los barrenos pueden ser modificados.
 - Volumen de un punto: es el punto llamado que define el final del barrenado para el cálculo efectivo del volumen. No necesariamente debe ser el punto más bajo del barrenado, pero si puede ser cualquier punto de las intersecciones. En la proyección completa, el volumen efectivo de cada barrenado es computado, y la medida de longitud del barrenado a este punto. Esta característica permite especificar la sobreperforación que no afecta el cálculo del volumen efectivo. El dominio de la voladura, polígono y barrenos son modificados para reflejar este nuevo volumen.
 - Tipo: relaciona el punto del volumen. El predeterminado es la profundidad total.

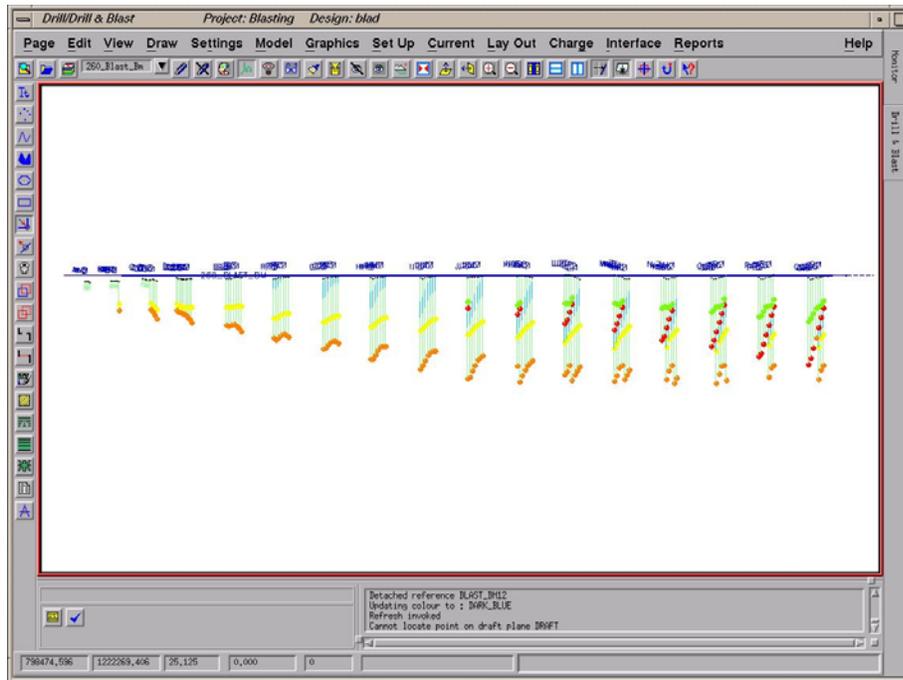


Figura 4.12. Proyección de Barrenos.

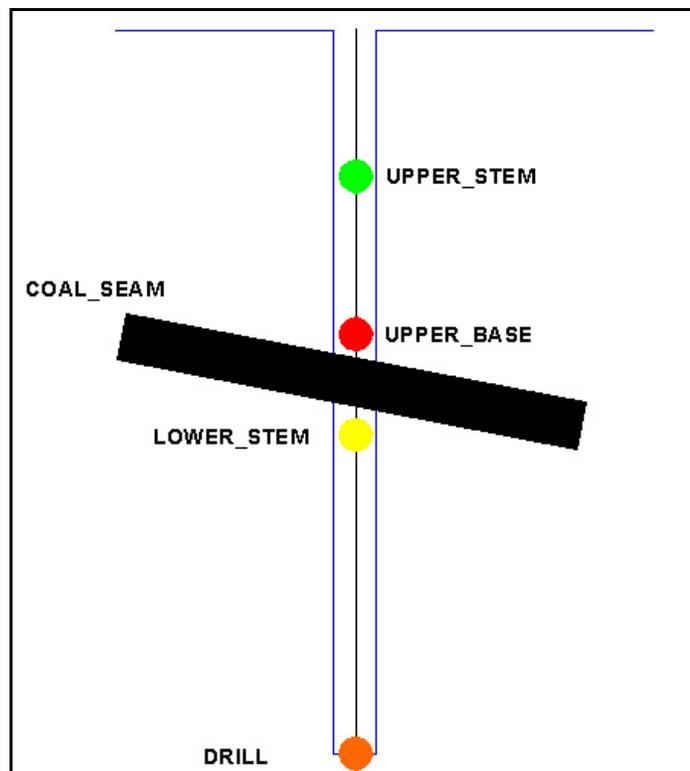


Figura 4.13. Puntos de Intersección dentro de un Barreno

4.2.2.5. *Coordenadas de Salida de topografía.*

Existe la capacidad de producir un grupo de puntos de salida de topografía desde la voladura. Todas las coordenadas del cuello de los barrenos mayores son escritas en una tabla. Cuando el sistema de topografía de Mincom esté presente en los proyectos de Minescape, se puede producir una tabla de coordenadas topográficas desde los barrenos mayores.

Para producir una tabla de coordenadas se debe seguir los siguientes pasos:

1. Datos de Entrada:
 - Fila de Diseño de la voladura: es la fila que contiene el diseño de la voladura.
 - Nombre de la voladura: es el nombre del diseño de la voladura. Unos 20 diseños pueden ser procesados al mismo tiempo.
2. Datos de Salida:
 - Archivo de tabla: es el nombre del archivo que contiene la tabla con las coordenadas topográficas.
 - Sobrescribir: si una tabla existe, se puede sobrescribir y añadir datos a la tabla.
3. Nombre de las columnas: es el nombre correspondiente de la columna en la tabla de datos.
4. Controles:
 - Nombre completo del barreno: si es verdadero, el nombre actual del barreno es escrito en la columna de los barrenos de la tabla. Si es falso, el número del barreno es escrito en la columna de los barrenos de la tabla.

4.2.3. Herramientas, Mantenimiento y Edición del Diseño de Voladura.

4.2.3.1. *Adicionar barreno.*

Por medio de Drill & Blast es posible escoger uno de los barrenos presentes en la voladura y adicionar barrenos de contorno o barrenos que el operador considere que deben adicionarse en un sitio específico del polígono límite de la voladura.

Adicionalmente se pueden modificar las especificaciones del barreno como profundidad, buzamiento, etc. Esta herramienta permite al diseñador de la voladura, jugar con diversos parámetros para así lograr conseguir un buen resultado en la voladura.

4.2.3.2. *Voladura Actual (Blast Current).*

Estas son un grupo de herramientas que se utilizan para modificar, activar y eliminar funciones de diseño de la voladura en la cual se está trabajando. Hay que recordar que una voladura puede hacerse actual también desde el diseño (layout) de los barrenos. Al seleccionar Voladura actual, los siguientes sub-comandos son mostrados:

1. Estatus: muestra todos los parámetros de diseño que se han realizado en la voladura actual. Entre los comandos que se muestran son el Nombre de la Voladura, el Nombre de la Fila de Diseño, La Existencia de los Barrenos, La Existencia del Área de Influencia de los Barrenos, La Existencia de la Carga de Explosivos y La Existencia de las Conexiones entre Barrenos. Adicionalmente se muestra sugerencias de los siguientes pasos a seguir por el diseñador de la voladura.
2. Display: muestra todas las operaciones que el diseñador quiere que aparezcan en la pantalla. Este sub-comando se divide en cuatro partes las cuales se muestran a continuación:

- a. Current Blast: Significa actualizar la voladura y dentro de esta aplicación se muestran todas las voladuras que se encuentran dentro de la fila de diseño en la que se está trabajando. Por lo que el diseñador tiene la capacidad de elegir en cuál de estas voladuras desea trabajar.
 - b. Blast Display: su función principal es mostrar en la pantalla una serie de características propias de la voladura, como lo son: los barrenos, las cargas de los barrenos, los polígonos de influencia y la legenda de la voladura.
 - c. Charge Display: su función principal es la de mostrar en pantalla una serie de características propias de la carga de los barrenos, como lo son: El cuello, los explosivos y los consumibles (detonadores, búster, para-plug, gas bag, retardos, etc.)
 - d. Annotations: Significa Anotaciones y su principal objetivo es activar y desactivar en la pantalla los nombres y anotaciones características de la voladura, como lo son: el Nombre de la voladura, los números de los Barrenos, Los Retardos de Superficie, Profundidad de las cargas y El tiempo de Detonación.
3. Defaults: permite observar y editar los valores predeterminados de la voladura en la cual trabaja el diseñador, entre los argumentos que se muestran dentro de este comando podemos conseguir los siguientes:
- El nombre de la región en la que se está realizando la voladura.
 - Especificaciones del Banco en donde se trabaja
 - Nombre de la perforadora que trabajará en la voladura
 - Nombre del banco en el cual se encuentra la voladura
 - Nombre del diseñador de la voladura
 - El estatus en el cual se encuentra la voladura (diseñándose, Cargando con explosivos, determinando tiempo de detonación, Cargando el archivo, cargando una superficie o Realizándose la voladura).
 - Fecha en la que se comenzó el diseño.

- Se puede controlar el tipo de identificación que se le quiere dar a las filas y columnas, entre las cuales se pueden mencionar: número y/o letras.
 - Se puede controlar: además cual unidad de factor de carga se quiere utilizar en el diseño de la voladura (Kg/m^3 ó Kg/ton).
 - Adicionalmente se puede predeterminar una densidad para el bloque de diseño.
4. Create Blast: su función principal es crear un nombre par la voladura la cual se quiere diseñar. Además de puede preestablecer valores a la voladura como los mostramos en el predeterminado.
 5. Edit Blast: Permite editar los valores predeterminados de la voladura a la cual se le está realizando el diseño. Los parámetros de la voladura los cuales pueden ser objeto de edición son los que se muestran en el Defaults.
 6. Clear Blast: esta función permite eliminar objetos característicos de la voladura en la cual trabaja el diseñador, entre los objetos que pueden ser eliminados se encuentran los barrenos, las cargas de los explosivos y los polígonos de influencia de los barrenos.
 7. Delete Blast: Mediante el uso de esta función el diseñador podrá eliminar cuantas voladuras desee, siempre y cuando dichas voladuras se encuentren en la fila de diseño en la cual se halla trabajando.

4.2.3.3. *Cálculo de cargas de Explosivos.*

Una vez que los barrenos han sido diseñados satisfactoriamente y contienen todos los horizontes requeridos y puntos insertados, los explosivos y consumibles pueden ser adicionados al diseños de la voladura y así igualar a una variedad de criterio. Puntos nombrados en el barreno son usados como guías para localización, pero otros criterios, tal como, Longitudes y Masas de cargas individuales pueden ser especificadas. Adicionalmente a

los barrenos se les puede determinar el amarre entre barrenos, para así determinar el tiempo de detonación y la Velocidad Máxima de la Partícula (Peak Particie Velocity). Las hojas de cargas y reportes detallados de todos los materiales usados en la voladura, incluyendo los costos, pueden ser creados.

Los cálculos de las cargas de los explosivos requieren el uso de Minescape. Los pasos a seguir son:

1. Se debe establecer las definiciones para todos los explosivos y consumibles.
2. Se define todos los materiales de relleno, los cuales pueden situados dentro de un barreno. Estos incluyen bolsas de aire (Gas-Bag) y detrito de perforación, así como explosivos a granel y empacados pero no consumibles.
3. Se determinan todos los barrenos consumibles.
4. Se precisan todos los consumibles de superficie, como por ejemplo, el cordón detonante y el nonel.
5. Se debe instituir el orden y cantidades de explosivos y consumibles a situar dentro de los barrenos. Estas definiciones de las columnas de explosivos son llamadas Patrones de Cargas. Muchos patrones de cargas pueden ser creados para nivelar la variabilidad de la geología y carga barrenos en diferentes manera.
6. Desde el menú de Minescape se procede a iniciar las cargas (INIT CHARGE), la cual establece los explosivos que se utilizarán en la voladura diseñada. Una vez iniciada la carga, se calcula la cantidad exacta de explosivos con el comando Carga de Barrenos (CHARGE HOLES). Para cerrar la carga de explosivos y proceder a honrar dichos cálculos, se debe finalizar las cargas (FINALIZE CHARGES), por medio de este comando de logra afirmar que las cantidades explosivos calculados para la voladura diseñada, son las correctas.

7. El amarre de los barrenos (TIED IN), puede determinar el tiempo de detonación de la voladura. Se puede establecer y modificar los retardos entre barreno y por filas. Adicionalmente, con este comando es posible calcular la Velocidad Máxima de la Partícula (Peak Particle Velocity).
8. Después se pueden producir hojas de cargas y reportes detallados de materiales y costos.

Dos tipos de factor de carga son compatibles con el sistema. No Ajustados y Ajustados.

- No Ajustados: este es expresado como Cantidad de Explosivo por volumen de Material Indiferente de la energía del explosivo.
- Ajustados: este es expresado como Masa de Explosivo por Volumen de Material Ajustado por la energía del explosivo relativo al ANFO.

4.3. LÓGICA INTERNA DEL SOFTWARE

La lógica interna del software se puede explicar por medio de los interpoladores que se encargan de realizar las intersecciones de las superficies, la generación de puntos, posicionamiento de las coordenadas X y Y, cotas, etc. Por esta razón se hará una reseña de los tipos de interpoladores y como funcionan dentro de las herramientas de Minescape.

4.3.1. Interpoladores.

Un interpolador provee de técnicas que pueden ser usadas para estimar espacialmente una superficie o valor; es decir, proporciona métodos que pueden ser empleados para evaluar $Z = f(X, Y)$, (dado X y Y, ¿cuál es el valor de Z?, cualquiera sea la superficie).

Por ejemplo, un interpolador se usa para construir una superficie "GRID" interpolando puntos de los datos originales sobre la red de nodos de la "rejilla" especificados por el "GRID".

Minescape proporciona varios interpoladores. Cada uno puede usarse con uno o más tipos de datos.

Los Interpoladores son clasificados, basándose en cómo ellos proveen técnicas válidas para evaluar puntos de prueba (es decir, evaluar Z, X y Y), o pueden fundamentarse en su capacidad para evaluar una superficie “GRID” de cotas sobre un campo variable.

4.3.1.1. *El criterio por usar los interpoladores.*

a. Honorando datos:

Consiste en la revalidación de datos y su función principal es establecer que los datos introducidos en el interpolador son los verdaderos valores de coordenadas. Por ejemplo el valor Z de una superficie en los datos de localización, (es decir, coordenadas XY) debe ser la elevación de los datos.

Más allá, si los datos incluyen información extensa que restringe una superficie (como la inclinación), también debe ser honorada o revalidada.

b. Tipos de Datos:

Los datos contienen los valores de los puntos, valores de líneas (las crestas y pies, trazas y ejes de pliegues, etc.), e información sobre la inclinación. Los Interpoladores pueden ser inmediatamente clasificados, basándose en los tipos de datos reconocidos durante la estimación de la superficie. Al identificar y además honrar, por ejemplo, los datos de líneas de discontinuidad o fallas, rápidamente se diferencian las opciones del interpolador.

c. Honorando Tendencias:

Para algunos tipos de superficies, honrar tendencias inducidas por datos extendidos y gradientes inferidas, es tan importante como honrar los

datos. Los interpoladores califican a las tendencias resultantes de las superficies, como muestras que están fuera del rango de los datos de la superficie.

d. Extrapolación:

La estimación de una superficie a partir de los datos XYZ, puede ser clasificada basándose en, si el punto de la muestra está dentro de la región de los datos o no. El término *Interpolación*, es normalmente reservado para la estimación dentro de los datos difundidos, y el término *Extrapolación*, para hacer un muestreo de los puntos fuera de esta zona. Algunas técnicas de estimación no extrapolan del todo, mientras otras mantienen las representaciones en equilibrio, alejándose de los datos límites.

e. Aplicación:

Algunos interpoladores simplemente no son métodos de evaluación $Z=f(X, Y)$, pero las técnicas pueden interpolar un GRID entero de cotas sobre un campo variable. De aquí, que algunos interpoladores sólo están disponibles cuando se está creando un GRID.

4.3.1.2. *Interpolación Intrínseca.*

(a) Investigación:

La investigación está intrínseca en la mayoría de las técnicas de interpolación de puntos. Esto debido a dos razones:

- Para excluir todos los datos que no tienen ninguna relevancia sobre los puntos evaluados. La exclusión de datos no pertinente, normalmente sólo es aplicable si se considera algún efecto regional que distorsione los datos de una manera discontinua, como por ejemplo fallas, intrusiones o grandes variaciones en los procesos de

deposición. La manera usual de excluir los datos es proporcionar polígonos de dominio, que designan áreas continuas a la estructura.

- Para procesar sólo estos puntos de los datos que contribuyen mensurablemente al resultado. La investigación también puede usarse para seleccionar los datos en un esfuerzo por superar los problemas inherentes al interpolador escogido. Esto normalmente se usa para manejar agrupamientos de datos, cuando el interpolador trabaja en datos uniformemente esparcidos al azar.

La manera usual de reducir el número de puntos a ser procesados, es considerar cada punto respecto a su peso en cuanto a importancia, y excluir cualquier dato que tenga un peso por debajo de un valor establecido. La palabra peso normalmente es una distancia relacionada a un valor.

(b) Peso de Datos:

Peso de Datos (o cuantificación de influencia de los datos) se hace por dos razones importantes:

- Los puntos cercanos a la muestra tendrán los valores más relevantes al resultado deseado.
- A menos que toda la base de datos esté incluida en el cálculo, habrá casos donde dos muestras bastante parecidas usarán base de datos ligeramente diferentes.

4.3.2. Interpoladores de Puntos.

Los siguientes interpoladores son interpoladores de puntos:

- Polígonos de Influencia
- Superficie de Tendencia
- Contorno
- Planar
- Distancia Inversa

- Altura
- Línea
- Triángulo

Estos interpoladores tienen predecibles patrones de dirección que permiten la selección del más satisfactorio de la base de datos. Algunos de los interpoladores menos confiables tienen el beneficio de la velocidad, de manera que cuando se requiere que la velocidad sea un factor importante y la precisión no fundamental, estos interpoladores son una opción viable.

4.3.2.1. *Polígonos de Influencia.*

El valor Z es derivado por asignación simple de valores a los puntos de datos con el mayor peso. Si los datos son isotópicos, este sería el punto más cercano. La superficie generada puede ser discontinua en los puntos que tienen igual peso por dos o más puntos de datos. Este interpolador tiene el beneficio de bajo costo y la extrapolación está limitada solamente por los radios de búsqueda. Los valores derivados no pueden exceder de los límites de los datos, debido a la asignación directa de valores de datos a los valores calculados. Este interpolador no es conveniente para la generación de gráficos (en particular, contornos), puesto que allí los valores no cambian excepto en las líneas de discontinuidad.

(a) Características:

| | |
|---|---|
| Extrapolación | Pobre – El punto más cercano proporciona el resultado |
| Honorando Tendencias | No–Limitado por el rango de los datos |
| Honorando Datos | Si |
| Sensibilidad para la distribución de datos | El mejor en densidad de datos |
| Indicación de confianza | Ninguna |
| Tipo de Datos | Puntos |

| | |
|----------------------|-------|
| Rejilla/Punto | Ambos |
| Relaciones | – |

Tabla 4.1. Características de Interpolador de Polígonos de Influencia.

4.3.2.2. *Distancia Inversa.*

Este interpolador considera la distribución de Z como una función de distancia. El área de peso usada es comúnmente uno del poder inverso de la distancia de la ubicación de la muestra. La determinación consiste en la suma de todos los datos dentro del radio de búsqueda, multiplicado por su peso relativo y dividiendo el total por la suma de los pesos.

La distancia inversa puede ser expresada mediante la siguiente fórmula:

$$I_i = \frac{\sum \frac{I_j}{(D_{ij})^P}}{\sum \frac{1}{(D_{ij})^P}} \quad (\text{Ec. 4.1.})$$

Donde:

I_i es el valor de la interpolación en la posición ***i***

I_j es el valor de la interpolación en la posición ***j***

D_{ij} es la distancia entre la posición ***i*** y la posición ***j***

P es el valor del poder

Al construir la ecuación para cada punto, los otros puntos se agrupan por sector. Ocho sectores son usados por este interpolador en Minescape. Si un valor desconocido es encontrado en un sector que tenga un valor conocido cercano al punto a ser interpolado, entonces el peso para este valor desconocido es igual a cero (0). Por consiguiente, cualquier valor desconocido no tendrá efecto en los datos a ser interpolados. Los valores derivados siempre están dentro del rango de los datos, es decir, el valor es siempre menor que el valor más alto de los datos y mayor que el valor menor

de los datos encontrados dentro del criterio de la búsqueda. En la extrapolación, los valores generados tienden hacia un promedio de los datos a procesar.

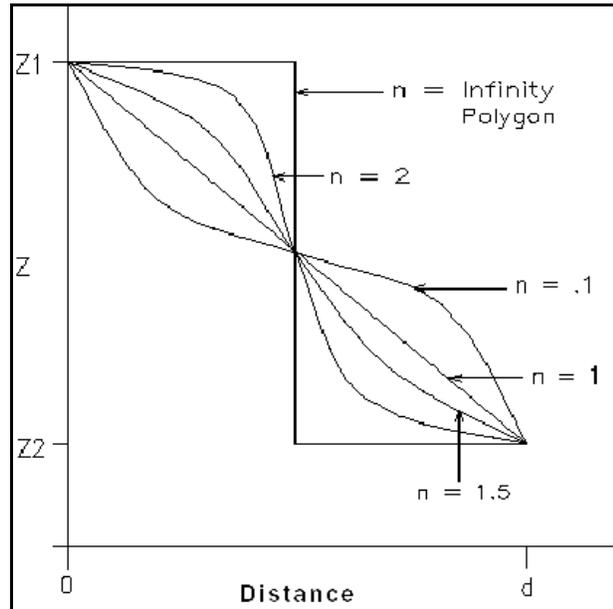


Figura 4.14. Efecto del poder de peso sobre el inverso de la Distancia.

(a) Características:

| | |
|---|---|
| Extrapolación | Tendencia hacia el promedio de los valores de datos |
| Honorando Tendencias | No-Limitado por el rango de los datos |
| Honorando Datos | Si |
| Sensibilidad para la distribución de datos | El mejor en densidad de datos |
| Indicación de confianza | Ninguna |
| Tipo de Datos | Puntos |
| Rejilla/Punto | Ambos |
| Relaciones | -- |

Tabla 4.2. Características de Interpolador de Distancia Inversa.

4.3.2.3. Superficie de Tendencia.

El análisis de la superficie de tendencia consiste en encajar un polinomio de superficie a los datos. Tomando el caso simple de un polinomio de primer orden o función plana, una fórmula para un plano se genera tal que la diferencia entre los valores de datos y los valores derivados se conservan mínimo en los puntos. Una versión familiar 2D de este polinomio, es la línea de correlación producida por un diagrama disperso. A menor que los datos sean planares, el resultado es un dato no honorado (es decir, un valor derivado en un punto de dato difiere del valor verdadero). La variación puede ser calculada y producida como una virtud de ajuste, lo cual es útil para juzgar la conformidad de esta técnica con relación a la base de datos. Otros interpoladores pueden formarse con datos no honorados, por la manipulación del peso de la curva, pero una superficie de tendencia es inherentemente lo mismo. Esto es sin embargo, considerado una herramienta valiosa para destacar las tendencias. Subsecuentemente solo una fórmula es generada por la base de datos, la investigación normal y el peso no son aplicables por este interpolador, pero el peso juega un papel importante en la determinación del mejor ajuste. El criterio usado es el de la suma de las diferencias de los mínimos cuadrados. Una aplicación común de las superficies de tendencia es la de calcular la diferencia entre la superficie generada y los datos, y el contorno final.

(a) Características:

| | |
|---|---|
| Extrapolación | Justo – depende del orden polinomial |
| Honorando Tendencias | Si – depende del orden polinomial |
| Honorando Datos | No |
| Sensibilidad para la distribución de datos | Cuadrados límites menores de Ajuste, agrupadores de problemas |
| Indicación de confianza | Ninguna |
| Tipo de Datos | Puntos |

| | |
|----------------------|--------------|
| Rejilla/Punto | Ambos |
| Relaciones | -- |

Tabla 4.3. Características de Interpolador de Superficie de Tendencia.

4.3.2.4. *Altura.*

El interpolador de alturas es una variante de los interpoladores. Superficie de tendencia y el inverso de la distancia.

Al contrario del interpolador superficie de tendencia los puntos de datos se pesan, de esta manera se produce un plano diferente para cada punto de muestra. Al usar una curva de peso que sea infinita en distancia cero, el honorario de los datos puede ser consolidado. Debido a los cuadrados límites de ajuste, el efecto de agrupamiento de los datos es minimizado. Cuatro puntos de prueba distorsionan el plano sobre un lado y solo dos son de gran importancia. Así como el algoritmo de la investigación y la curva de peso, el orden de ajuste (cuadrados límites menores) y el orden de la superficie (plano, primer orden), pueden ser cambiados para poder dar un modelo más apropiado de la superficie.

En la extrapolación, el interpolador de altura tiende a seguir la última tendencia. Por consiguiente, los resultados fuera de los límites de los datos, son más propensos a los errores que aquellos que se encuentran dentro.

Este interpolador construye el mejor plano de ajuste a través de los datos que encierran al punto de muestra.

Para un grupo de puntos de datos (x_l, y_l, z_l) , $l = 1, n$, coeficientes de la ecuación que definen un plano.

$$z = ax + by + c \quad \text{(Ec. 4.2.)}$$

Se calcula para minimizar la suma de los cuadrados de los valores de Z reales menos los valores de Z calculados, es decir, minimice:

$$\sum (z_i - [ax_i + by_i + c])^2 \quad (\text{Ec. 4.3.})$$

Antes de resolver esta ecuación, los puntos en el grupo a ser usado para calcular z son pesados, basándose en la distancia de la muestra (x, y). Para los funcionamientos de la base de datos, el peso es definido por el usuario, aun cuando las operaciones del modelo usan el peso del inverso de la distancia a la cuarta potencia. El poder de peso es P , mientras que el factor de peso w_i es definido a continuación.

$$w_i = \frac{1}{[d_i]^P} \quad (\text{Ec. 4.4.})$$

donde:

d_i es la diferencia del punto de muestra al punto de dato i .

Minimizando:

$$\int(a,b,c) = \sum_{i=1}^n w_i (z_i - [ax_i + by_i + c])^2 \quad (\text{Ec. 4.5.})$$

Los coeficientes son calculados usando el hecho de que las derivadas parciales de (a, b, c) con respecto a: a, b y c son todas cero, subsecuentemente se minimiza. Un grupo de ecuaciones lineales se estructuran como se muestra a continuación para a, b , y c :

$$\frac{\delta f}{\delta a} = 0 \implies a \sum w_i x_i^2 + b \sum w_i x_i y_i + c \sum w_i x_i = \sum w_i x_i z_i \quad (\text{Ec. 4.6.})$$

$$\frac{\delta f}{\delta b} = 0 \implies a \sum w_i x_i y_i + b \sum w_i y_i^2 + c \sum w_i y_i = \sum w_i y_i z_i \quad (\text{Ec. 4.7.})$$

$$\frac{\delta f}{\delta c} = 0 \implies a \sum w_i x_i + b \sum w_i y_i + c \sum w_i = \sum w_i z_i \quad (\text{Ec. 4.8.})$$

Estos valores de a, b , y c de sustituyen dentro del valor $z = ax + by + c$, dándoles un valor z al punto de muestra.

(a) Características:

| | |
|---|--|
| Extrapolación | Buena - sigue la última tendencia de los datos |
| Honorando Tendencias | Si – seguirá las tendencias locales |
| Honorando Datos | Si |
| Sensibilidad para la distribución de datos | Cuadrados límites menores de Ajuste, agrupaciones de problemas |
| Indicación de confianza | Ninguna |
| Tipo de Datos | Puntos |
| Rejilla/Punto | Ambos |
| Relaciones | Híbrido de superficie de tendencias e interpolador inverso de la distancia |

Tabla 4.4. Características de Interpolador de Altura.

4.3.2.5. *Contorno.*

El interpolador de contorno es una variante del interpolador de altura, trabaja específicamente con datos de contorno. Difiere en la manera como selecciona los datos y provee una opción en el tipo de superficie a ser ajustado.

Un máximo de dos puntos se seleccionan de cada uno de ocho sectores, radiados desde el punto en el cual un valor va a ser interpolado. Los dos puntos seleccionados serán los más cercanos a ese sector que tiene valores diferentes. Esto es para garantizar que el contorno no genere un gran número de puntos que distorsionen el resultado. Para un valor ser interpolador, al menor cinco de los ocho sectores deben contener puntos. No existe extrapolación fuera de esta área. Considerando que el interpolador de altura encuentre el mejor ajuste planar, el interpolador de contorno permite al usuario especificar el mayor orden (polinomial) de superficie. El mayor orden de superficies puede proveer mejores resultados cuando los puntos son inadecuadamente definidos por los datos disponibles.

(a) Características:

| | |
|---|--|
| Extrapolación | Pobre – requiere datos en 5 de los 8 sectores |
| Honorando Tendencias | Si – seguirá las tendencias locales |
| Honorando Datos | Si |
| Sensibilidad para la distribución de datos | Maneja el agrupamiento de datos muy bien |
| Indicación de confianza | Ninguna |
| Tipo de Datos | Puntos |
| Rejilla/Punto | Ambos |
| Relaciones | Variación del interpolador de altura. Usa ocho sectores y solamente selecciona los dos puntos más cercanos en cada sector. |

Tabla 4.5. Características de Interpolador de Contorno.

4.3.2.6. *Línear.*

Los interpoladores lineares trabajan de la misma manera que el interpolador de altura, excepto que los segmentos de línea son reconocidos, así como los puntos individuales. Tal como el interpolador de altura maneja los puntos de peso (y honorado), el interpolador lineal maneja las cadenas de líneas por peso (y honorado). Los valores son interpolados linealmente a lo largo de la línea.

(a) Características:

| | |
|---|--|
| Extrapolación | Justa - sigue la última tendencia de los datos |
| Honorando Tendencias | Si – localiza las tendencias |
| Honorando Datos | Si – Honora los puntos y líneas en los datos |
| Sensibilidad para la distribución de datos | El agrupamiento tiende a distorsionar el peso |
| Indicación de confianza | Ninguna |
| Tipo de Datos | Puntos, líneas |

| | |
|----------------------|---|
| Rejilla/Punto | Ambos |
| Relaciones | Muy similar al interpolador de altura, pero considera el punto más cercano sobre la cadena de líneas como un punto de la muestra, así como los puntos individuales. |

Tabla 4.6. Características de Interpolador de Línea.

4.3.2.7. *Planar.*

El primer paso en la interpolación plana es triangular los puntos de muestra, y después ajustar una superficie de tendencia al grupo de puntos. Después de remover la tendencia, el error residual es calculado. Para interpolar un valor en un punto dado, el plano del error residual se ajusta al triángulo que contiene los puntos y el efecto residual calculado. El valor de la superficie de tendencia en ese punto es calculado. El valor interpolado es la suma del valor de la tendencia y el valor residual.

(a) Características:

| | |
|---|---|
| Extrapolación | Pobre - sigue la última tendencia de los datos |
| Honorando Tendencias | Si – depende del orden polinomial |
| Honorando Datos | Si – Honora los puntos por definición |
| Sensibilidad para la distribución de datos | La triangulación puede producir formas irregulares para los datos agrupados |
| Indicación de confianza | Los residuos pueden ser usados para indicar virtud de ajuste de la superficie de tendencia |
| Tipo de Datos | Puntos |
| Rejilla/Punto | Ambos |
| Relaciones | Usa una superficie de tendencia con la interpolación líneas de residuos, empleando triángulos |

Tabla 4.7. Características de Interpolador Planar.

4.3.2.8. Triángulo.

El interpolador triangular, usa la interpolación planar del triángulo que cubre el XY que interesa.

(a) Características:

| | |
|---|--|
| Extrapolación | N/A |
| Honorando Tendencias | N/A |
| Honorando Datos | SI |
| Sensibilidad para la distribución de datos | N/A |
| Indicación de confianza | N/A |
| Tipo de Datos | Triángulos |
| Rejilla/Punto | Ambos |
| Relaciones | Usa la interpolación planar del triángulo que cubre el XY que interesa |

Tabla 4.8. Características de Interpolador de Triángulo.

4.3.3. Interpoladores Grid.

Los siguientes interpoladores son considerados Interpoladores Grid.

- Sección
- Método de Diferencia finita (MDF)
- Método de Elemento Finito (MEF)
- Spline

Para la interpolación de un Grid (“Rejilla”), se usa un interpolador bilinear, es decir, una ecuación de la siguiente forma es usada para representar la variación dentro de una celda de Grid.

$$z = a + bx + cy + dxy \quad (\text{Ec. 4.9.})$$

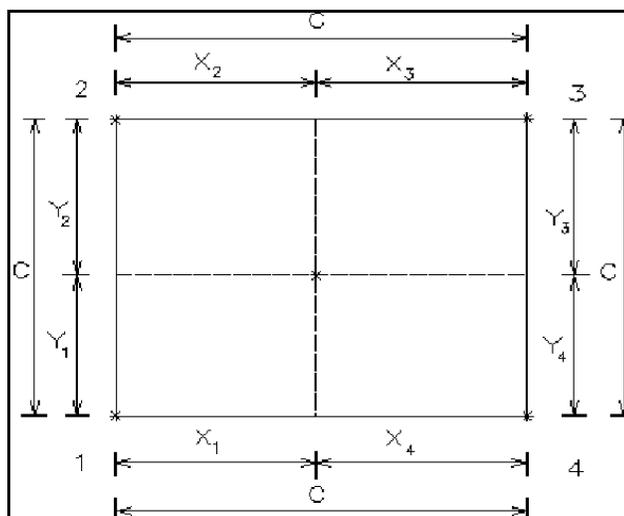


Figura 4.15. Punto dentro de una celda Grid.

La figura 4.15 identifica un punto dentro de una celda del Grid y las variables que posicionan el punto relativo a la celda.

4.3.3.1. Sección.

El interpolador de sección solo considera cadena de líneas como datos. Las intersecciones de las cadenas de líneas con las filas y las columnas son calculadas. La interpolación de una sola cadena de línea es lineal. Por cada nodo de la rejilla, dos valores pueden ser interpolados. Estos corresponden a la intersección con la fila y columna, respectivamente. Los valores se encuentran, localizando los puntos más cercanos a la intersección en cualquier lado del nodo e interpolando linealmente. Los dos valores que son calculados, son pesados por el inverso del producto de la distancia a los dos puntos usados para interpolar.

(a) Características:

| | |
|-----------------------------|---|
| Extrapolación | Ninguna – solo usa interpolación lineal |
| Honorando Tendencias | Si – Honora datos interpolando las filas y columnas del Grid. |

| | |
|---|--|
| Honorando Datos | El mejor con datos de línea densa. Muy bueno honorando líneas, pero pobre en interpolación |
| Sensibilidad para la distribución de datos | Ninguna |
| Indicación de confianza | Líneas |
| Tipo de Datos | Rejillas (Grid) |
| Rejilla/Punto | -- |
| Relaciones | |

Tabla 4.9. Características de Interpolador de Sección.

4.3.3.2. *Spline.*

El interpolador Spline solo considera cadena de líneas como tipo de datos. Las intersecciones de las cadenas de líneas con las filas y las columnas son calculadas. La interpolación de una sola cadena de líneas es lineal. Por cada nodo del Grid, dos valores pueden ser interpoladores. Estos corresponden a la intersección con la fila y columna, respectivamente. Los valores se encuentran, localizando los puntos más cercanos a la intersección en cualquier lado del nodo e interpolando por ajuste un Spline a los cuatro puntos. Los dos valores que son calculados, son pesados por el inverso del producto de la distancia a los dos puntos usados para interpolar.

(a) Características:

| | |
|---|--|
| Extrapolación | No extrapola |
| Honorando Tendencias | Usa Spline entre la intersección más cercana a los valores calculados de los nodos del Grid |
| Honorando Datos | Si – Honora datos interpolando las filas y columnas del Grid |
| Sensibilidad para la distribución de datos | El mejor con datos de líneas densas. Muy bueno honorando líneas, pero pobre en interpolación |
| Indicación de confianza | Ninguna |
| Tipo de Datos | Líneas |
| Rejilla/Punto | Rejillas (Grid) |

| | |
|-------------------|---|
| Relaciones | Similar al interpolador de sección, pero ajusta una curva. Requiere dos puntos en cada lado del nodo (el interpolador de sección solo requiere uno) |
|-------------------|---|

Tabla 4.10. Características de Interpolador Spline.

4.3.3.3. *Método de Diferencia Finita (MDF).*

El interpolador MDF es solamente usado para interpolar sobre un Grid. Por cada punto de dato, una ecuación puede ser estructurada. Este es la misma ecuación utilizada por el interpolador MEF.

La ecuación bilinear se deriva de dos fuentes:

- Suavidad: en cada nodo, una ecuación armónica es construida. Esta representa la interpolación entre los puntos de datos.
- Honorando Datos: por cada punto de dato una ecuación bilinear se estructura para el Grid.

El grupo de ecuaciones a ser resueltas contienen más ecuaciones que variables. Es decir, una solución que no puede ser encontrada, eso honora cada condición. Sin embargo, pueden usarse cuadrados más pequeños para minimizar el error en la solución. Designando un gran peso a los errores en la ecuación bilinear, la solución es garantía para honrar los datos. La curvatura se aproxima por diferencia de segundo orden, ya que el diferencial de segundo orden de la ecuación bilinear es igual a cero. Para un nodo (i, j), este produce la siguiente ecuación:

$$(Z_{i-1,j}) + (Z_{i+1,j}) + (Z_{i,j-1}) + (Z_{i,j+1}) - (4Z_{i,j}) = 0 \quad \text{(Ec. 4.10.)}$$

a) Características:

| | |
|-----------------------------|---|
| Extrapolación | Justa – sigue los límites de las tendencia locales |
| Honorando Tendencias | Si |
| Honorando Datos | Si – usa la ecuación bilinear para celdas del Grid con datos. Honorando discontinuidades, sin embargo, el interpolador MEF es mejor |

| | |
|---|--|
| Sensibilidad para la distribución de datos | Maneja el agrupamiento muy bien |
| Indicación de confianza | Ninguna |
| Tipo de Datos | Puntos, Líneas y Fallas |
| Rejilla/Punto | Rejillas (Grid) |
| Relaciones | Similar al interpolador MEF. El término suavidad difiere |

Tabla 4.11. Características de Interpolador MDF

4.3.3.4. *Método de Elemento Finito (MEF).*

El interpolador MEF es solamente usada para interpolar sobre un grid. Por cada punto de dato una ecuación lineal puede ser estructurada. Esta expresa el valor conocido en el punto de dato, en términos de valores desconocidos de cuatro nodos que rodean el punto. La interpolación bilinear es el método utilizado para interpolar dentro de una celda de grid. Esta ecuación garantiza el honorado de los datos.

Las ecuaciones bilineales son derivadas de dos fuentes:

- Suavidad: la minimización de la curvatura se logra a través de un grupo de ecuaciones de suavidad que son estructuradas para cada celda del Grid. Estas son las ecuaciones armónicas.
- Honorado de datos: por cada punto de dato una ecuación bilinear es estructurada por la celda del Grid que contiene este punto de dato.

El grupo de ecuaciones a ser calculadas contiene más ecuaciones que variables. Es decir, no se puede hallar una solución que honore cada condición. Sin embargo, el método de mínimos cuadrados puede ser usado para minimizar el error en la solución. Asignando un peso mayor a los errores en las ecuaciones bilineales, se garantiza el honorado de los datos.

Por cada celda del Grid, una ecuación armónica se estructura. Su intención es producir suavidad en el resultado (curvatura mínima), esto es consistente con los puntos de datos, como se define en la ecuación bilinear.

Las ecuaciones armónicas se derivan de la siguiente ecuación:

Curvatura mínima:

$$\iint \left(\frac{\delta Z}{\delta X} \right)^2 + \left(\frac{\delta Z}{\delta Y} \right)^2 dYdX = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} 4 & -1 & -2 & -1 \\ -1 & 4 & -1 & -2 \\ -2 & -1 & 4 & -2 \\ -1 & -2 & -1 & 4 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} Z1 \\ Z2 \\ Z3 \\ Z4 \end{vmatrix} = 0 \quad (\text{Ec. 4.11.})$$

Esto es conocido como el principio de la variación.

Las variables **Z1**, **Z2**, **Z3** y **Z4** son los valores desconocidos de los cuatro nodos de las celdas del Grid. Estos dos tipos diferentes de ecuaciones no producirán una matriz cuadrada. Siempre hay más ecuaciones que variables. Se puede conseguir una matriz cuadrada multiplicando previamente el coeficiente de la matriz por la transpuesta de esta matriz.

$$[C][Z] = [R] \quad (\text{Ec. 4.12.})$$

se convierte en:

$$[C]^T[C][Z] = [C]^T[R] \quad (\text{Ec. 4.13.})$$

La solución a este problema es el método de mínimo cuadrados.

Cuando las ecuaciones bilineales y las ecuaciones armónicas son combinadas en una matriz, siempre se le asigna gran peso a dicha matriz, para así garantizar el honorario de los datos.

a) Características:

| | |
|---|---|
| Extrapolación | Buena – sigue la última regional tendencia de datos |
| Honorando Tendencias | Si |
| Honorando Datos | Si – Usa ecuaciones bilineales para las celdas del grid con datos |
| Sensibilidad para la distribución de datos | El mejor honorando discontinuidades. Maneja diversas distribuciones y agrupa muy bien |
| Indicación de confianza | Ninguna |
| Tipo de Datos | Puntos, Líneas y Fallas |
| Rejilla/Punto | Rejillas (Grid) |
| Relaciones | – |

Tabla 4.12. Características de Interpolador MEF.

CAPÍTULO V. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para realizar el desarrollo experimental se basa en la comparación de la situación actual de las operaciones de perforación y voladura de la mina Paso Diablo con los resultados obtenidos en las voladuras planificadas con el software Drill & Blast. Cabe destacar que en la actualidad las voladuras son planificadas por el departamento de producción y dicha planificación se basa en datos de campo y secciones manuales llevadas por dicho departamento.

Debido a que uno de los objetivos del Trabajo Especial de Grado es determinar los resultados que se obtienen en las operaciones de perforación y voladura con la implantación del software, es muy importante establecer las condiciones iniciales de estas operaciones antes de la utilización del software en la planificación de las voladuras (datos de control), para así poder tener una base comparativa de forma tal de poder evaluar el impacto que tiene la implantación del software Drill & Blast de Mincom en las operaciones de perforación y voladura de la mina Paso Diablo.

La eficiencia de los equipos de perforación es uno de los puntos a evaluar, para lo cual fue necesario estudiar la disponibilidad física y la disponibilidad mecánica, la utilización de la disponibilidad física y la productividad de dichos equipos. Las medidas nombradas con anterioridad tienen su base de estudio en el departamento de producción de la mina Paso Diablo, dicho departamento se encarga de llevar y reportar los valores de eficiencia de todos los equipos productivos presentes en la mina. Los datos de control o base para el estudio comparativo son promedios mensuales y diarios suministrados por el personal de dicho departamento empleando el software Dispatch, el cual se encarga de llevar un control de los tiempos reales de todos los equipos productivos y a su vez permite el

almacenamiento de datos anteriores para así poder observar posibles problemas. De igual forma, los datos experimentales fueron suministrados por dicho departamento. El estudio comparativo de la eficiencia de los equipos de perforación se realizara contrastando los datos de control con los resultados obtenidos en las voladuras planificadas con el software.

En la búsqueda de definir la precisión y la eficiencia del proceso de perforación de la mina Paso Diablo, se recopilaron los datos de patrón de perforación planificados y se compararon los levantamientos topográficos de las perforaciones en campo. A dicha comparación se le realizó un estudio estadístico de medidas de tendencia central (media aritmética, moda y mediana) y de medidas de dispersión (desviación media, desviación estándar, y varianza). Con el cálculo de estos valores se puede lograr realizar un análisis de varianza para comprobar si los datos recopilados no son producto de la casualidad, dicho estudio se refleja en los análisis de resultado. Este estudio estadístico comparativo se realiza tanto a voladuras no planificadas con el software y a voladuras planificadas con el software, de modo tal de observar el efecto directo que tendría el software sobre la precisión y eficiencia de la ubicación de las perforaciones en la mina Paso Diablo.

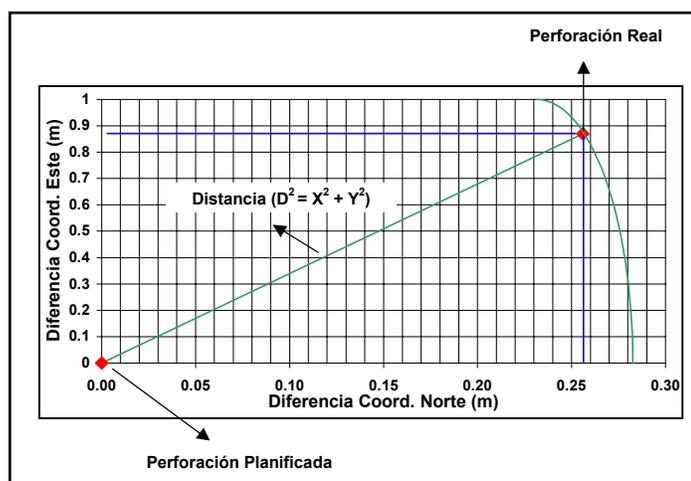


Figura 5.1. Posicionamiento Perforación Real y Perforación Planificada.

Las diferencias de coordenadas entre el patrón planificado y el patrón real, son los datos que determinaran la precisión, tanto la coordenada norte como las coordenadas este pueden establecer una diferencia en un eje de coordenadas X y Y. El cuadrado de estas distancias X y Y determinan la distancia de la perforación planificada a la real. Ver figura 5.1.

Las coordenadas X corresponden a la diferencia de coordenadas norte entre la perforación planificada y la perforación real, las coordenadas Y es la diferencia entre las coordenadas este. La distancia es la raíz cuadrada del cuadrado de las coordenadas X y Y.

Todos los datos experimentales se basaron en el estudio de cinco (5) voladuras, diseñadas y planificadas con el software Drill & Blast.

Para el levantamiento real de las perforaciones en campo se empleo el levantamiento topográfico por medio del sistema de posicionamiento global (GPS), usado por el departamento de topografía.

En cuanto a la eficiencia de los equipos de perforación, es el resultado obtenido de dichos equipos cuando trabajaron en las voladuras planificadas con el software.

La metodología utilizada para levantar las perforaciones por medio de GPS consiste en: Primero, el operador del GPS carga el receptor de señal en una mochila la cual lleva en su espalda; Segundo, levanta el patrón de perforación planificado por el software Drill & Blast el cual fue enviado por una red interna de la empresa hasta el computador donde se ubica un puerto serial por el cual el GPS puede importar y exportar datos topográficos; Tercero, levantamiento de las perforaciones; Cuarto, se procede a levantar estas perforaciones después de ser perforadas; Quinto, dicho levantamiento es exportado desde el GPS hasta el computador y de allí hasta el computador con el software Drill & Blast.

Para levantar las voladuras no planificadas con el software fue necesario que en el bloque a volar, se ubicaran los barrenos perforados y se

determinaran sus coordenadas geográficas, dichas coordenadas se compararon con un bloque ideal diseñado por el software Dril & Blast. Al mismo tiempo este patrón ideal se inicia desde un punto o barreno guía de modo de partir de una base común para ambos patrones (perforado e ideal). Esta metodología se aplicó a ocho (8) voladuras escogidas al azar (en todas las voladuras se emplea el sistema de voladura convencional y fueron planificadas por el departamento de producción).

Cabe destacar que cada una de las voladuras planificadas con el software Drill & Blast son Bajo Mantos, esto debido a que la planificación de estas voladuras es más complicada que las voladuras convencionales y observar los resultados obtenidos en una voladura Bajo Manto podría asegurar su uso en las voladuras convencionales.

5.2. DATOS DE CONTROL

5.2.1. Productividad.

En la tabla 5.1, se muestra los valores de productividad (metros lineales por hora) de la flota de perforados de la mina Paso Diablo, datos del año 2000 y 2001 (hasta Mayo).

Los datos mostrados en esta tabla son promedios mensuales de cada una de las perforadoras, además, se muestran el promedio mensual de perforación por cada perforadora y el promedio diario de perforación “41.71 m/h”.

| MES | PERFORADORA | | | | | | | |
|------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1308 | | 1309 | | 1311 | | 1312 | |
| | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 |
| ENERO | 36.41 | 42.02 | 42.17 | 40.71 | 47.05 | 46.53 | 41.42 | 41.68 |
| FEBRERO | 38.62 | 41.24 | 39.51 | 39.85 | 43.82 | 50.16 | 46.73 | 40.34 |
| MARZO | 38.08 | 39.90 | 43.95 | 39.28 | 48.54 | 48.53 | 45.48 | 38.88 |
| ABRIL | 36.52 | 40.12 | 37.23 | 42.26 | 52.04 | 44.95 | 41.21 | 42.43 |
| MAYO | 38.02 | 37.37 | 44.88 | 40.74 | 49.11 | 45.34 | 40.24 | 39.28 |
| JUNIO | 40.55 | | 37.95 | | 48.13 | | 38.11 | |
| JULIO | 38.49 | | 41.46 | | 46.23 | | 36.29 | |
| AGOSTO | 34.72 | | 41.79 | | 44.02 | | 36.90 | |
| SEPTIEMBRE | 37.42 | | 39.74 | | 49.05 | | 35.92 | |
| OCTUBRE | 38.65 | | 40.71 | | 45.37 | | 38.58 | |
| NOVIEMBRE | 40.21 | | 40.39 | | 46.52 | | 39.50 | |
| DICIEMBRE | 38.64 | | 39.36 | | 51.44 | | 37.38 | |
| Promedio Mensual | 38.03 | 40.13 | 40.76 | 40.57 | 47.61 | 47.10 | 39.81 | 40.52 |
| Promedio Diario | 41.71 M/H | | | | | | | |

Tabla 5.1. Productividad promedio mensual por Perforadora.

5.2.2. Disponibilidad Física y Mecánica.

En la tabla 5.2 y 5.3 se muestran simultáneamente los valores de disponibilidades físicas y mecánicas de las perforadoras existentes dentro de la mina Paso Diablo. De igual manera que se mostraron los datos de productividad, los valores de disponibilidades son del año 2000 y 2001(hasta Mayo) y fueron recopilados de Dispatch. Todos los valores mostrados están expresados en porcentaje y promedio por meses y diario total.

| MES | PERFORADORA | | | | | | | |
|------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1308 | | 1309 | | 1311 | | 1312 | |
| | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 |
| ENERO | 88.73% | 76.99% | 86.36% | 89.70% | 90.88% | 86.85% | 83.49% | 83.62% |
| FEBRERO | 85.06% | 82.19% | 84.75% | 91.59% | 81.73% | 82.39% | 59.67% | 70.06% |
| MARZO | 87.84% | 45.12% | 91.30% | 78.14% | 70.12% | 54.17% | 82.55% | 69.85% |
| ABRIL | 74.58% | 81.94% | 82.94% | 81.83% | 77.92% | 88.03% | 78.31% | 44.42% |
| MAYO | 68.41% | 70.88% | 76.10% | 60.51% | 88.15% | 86.11% | 70.70% | 69.91% |
| JUNIO | 84.14% | | 92.87% | | 87.55% | | 73.45% | |
| JULIO | 78.02% | | 68.59% | | 90.99% | | 87.77% | |
| AGOSTO | 67.27% | | 81.81% | | 34.14% | | 81.38% | |
| SEPTIEMBRE | 86.81% | | 73.40% | | 81.92% | | 79.26% | |
| OCTUBRE | 75.83% | | 70.05% | | 88.13% | | 60.75% | |
| NOVIEMBRE | 71.92% | | 41.32% | | 69.28% | | 46.64% | |
| DICIEMBRE | 83.15% | | 80.80% | | 55.35% | | 82.30% | |
| Promedio Mensual | 79.31% | 71.42% | 77.52% | 80.35% | 76.35% | 79.51% | 73.86% | 67.57% |
| Promedio Diario | 76.16% | | | | | | | |

Tabla 5.2. Disponibilidad Física promedio mensual por Perforadora.

| MES | PERFORADORA | | | | | | | |
|------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1308 | | 1309 | | 1311 | | 1312 | |
| | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 |
| ENERO | 67.34% | 67.79% | 77.76% | 83.01% | 82.01% | 82.66% | 53.86% | 73.71% |
| FEBRERO | 77.31% | 28.22% | 74.35% | 84.89% | 75.78% | 75.80% | 42.24% | 60.18% |
| MARZO | 77.67% | 40.29% | 75.12% | 72.87% | 58.88% | 51.93% | 69.15% | 62.54% |
| ABRIL | 52.50% | 76.15% | 71.03% | 70.83% | 72.67% | 82.59% | 72.59% | 33.23% |
| MAYO | 58.60% | 68.65% | 59.94% | 59.84% | 83.34% | 49.88% | 64.43% | 69.59% |
| JUNIO | 69.06% | | 73.61% | | 78.81% | | 58.44% | |
| JULIO | 65.60% | | 56.30% | | 87.61% | | 74.82% | |
| AGOSTO | 56.69% | | 73.73% | | 31.59% | | 72.44% | |
| SEPTIEMBRE | 79.06% | | 60.57% | | 75.73% | | 61.61% | |
| OCTUBRE | 68.63% | | 62.80% | | 83.93% | | 54.85% | |
| NOVIEMBRE | 67.11% | | 37.47% | | 63.97% | | 40.69% | |
| DICIEMBRE | 75.37% | | 71.16% | | 48.68% | | 69.22% | |
| Promedio Mensual | 67.91% | 56.22% | 66.15% | 74.29% | 70.25% | 68.57% | 61.20% | 59.85% |
| Promedio Diario | 65.89% | | | | | | | |

Tabla 5.3. Disponibilidad Mecánica promedio mensual por Perforadora.

Según tabla 5.2 y 5.3 se determino que el promedio diario de Disponibilidad Física y Mecánica es 76.16% y 65.89% respectivamente. Ambos valores muestran el porcentaje de tiempo que una maquina tiene disponible y el tiempo que realmente se usa.

5.2.3. Utilización de la Disponibilidad Física.

En la tabla 5.4 se muestran los valores de utilización de las disponibilidades físicas de las perforadoras existentes dentro de la mina Paso Diablo.

De igual manera que se mostraron los datos de disponibilidad física y mecánica, los datos de utilización son del año 2000 y 2001 (hasta mayo) y fueron recopilados de Dispatch.

Según la tabla 5.4 se determino que el valor de utilización de disponibilidad física total diaria promedio es igual a 50.66%.

| MES | PERFORADORA | | | | | | | |
|------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1308 | | 1309 | | 1311 | | 1312 | |
| | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 | 2000 | 2001 |
| ENERO | 27.15% | 48.53% | 41.73% | 51.67% | 33.53% | 65.13% | 21.89% | 46.46% |
| FEBRERO | 59.46% | 47.99% | 49.93% | 51.35% | 64.28% | 56.82% | 44.14% | 44.65% |
| MARZO | 44.21% | 60.72% | 22.92% | 55.16% | 44.50% | 66.25% | 39.24% | 60.74% |
| ABRIL | 46.01% | 59.32% | 47.68% | 50.69% | 60.07% | 65.84% | 65.27% | 40.07% |
| MAYO | 53.75% | 50.82% | 44.45% | 31.06% | 61.60% | 63.15% | 65.53% | 53.97% |
| JUNIO | 38.72% | | 26.52% | | 54.24% | | 43.18% | |
| JULIO | 36.26% | | 39.39% | | 54.37% | | 41.28% | |
| AGOSTO | 56.89% | | 57.38% | | 62.30% | | 62.06% | |
| SEPTIEMBRE | 50.31% | | 42.43% | | 58.00% | | 36.19% | |
| OCTUBRE | 54.27% | | 50.99% | | 64.43% | | 49.19% | |
| NOVIEMBRE | 67.49% | | 61.57% | | 65.74% | | 56.82% | |
| DICIEMBRE | 55.32% | | 47.70% | | 54.73% | | 49.03% | |
| Promedio Mensual | 49.15% | 53.48% | 44.39% | 47.99% | 56.48% | 63.44% | 47.82% | 49.18% |
| Promedio Diario | 50.66% | | | | | | | |

Tabla 5.4. Utilización de la Disponibilidad Mecánica promedio mensual por Perforadora.

5.2.4. Precisión y Eficiencia de la Perforación.

En las siguientes tablas señaladas a continuación se muestran los resultados estadísticos obtenidos para voladura sin ubicación con GPS, sino marcadas en campo por los operadores de las perforadoras con cinta métrica. Todos los resultados mostrados son en metros.

La planificación de dichas voladuras fue realizada sin utilización del software Drill & Blast de Mincom.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 1.3116 |
| Moda | 1.8210 |
| Mediana | 1.4054 |
| Desviación Media | 0.4210 |
| Desviación Estándar | 0.4943 |
| Varianza | 0.2443 |

Tabla 5.5. Estadística Voladura #150.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 1.4391 |
| Moda | 1.4515 |
| Mediana | 1.4634 |
| Desviación Media | 0.3669 |
| Desviación Estándar | 0.4625 |
| Varianza | 0.2139 |

Tabla 5.6. Estadística Voladura #152.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 1.4679 |
| Moda | 1.2571 |
| Mediana | 1.4894 |
| Desviación Media | 0.4914 |
| Desviación Estándar | 0.5941 |
| Varianza | 0.3529 |

Tabla 5.7. Estadística Voladura #274.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 1.1887 |
| Moda | 1.0771 |
| Mediana | 1.1525 |
| Desviación Media | 0.3231 |
| Desviación Estándar | 0.4064 |
| Varianza | 0.1651 |

Tabla 5.8. Estadística Voladura #282.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 1.4794 |
| Moda | 1.8340 |
| Mediana | 1.5107 |
| Desviación Media | 0.4455 |
| Desviación Estándar | 0.5258 |
| Varianza | 0.2765 |

Tabla 5.9. Estadística Voladura #291.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 1.3306 |
| Moda | 1.5590 |
| Mediana | 1.3679 |
| Desviación Media | 0.4647 |
| Desviación Estándar | 0.5504 |
| Varianza | 0.3029 |

Tabla 5.10. Estadística Voladura #292.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 1.4719 |
| Moda | 1.6750 |
| Mediana | 1.5114 |
| Desviación Media | 0.4235 |
| Desviación Estándar | 0.5298 |
| Varianza | 0.2807 |

Tabla 5.11. Estadística Voladura #304.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 1.4345 |
| Moda | 1.8780 |
| Mediana | 1.4880 |
| Desviación Media | 0.4080 |
| Desviación Estándar | 0.4986 |
| Varianza | 0.2486 |

Tabla 5.12. Estadística Voladura #305.

La población de datos para cada una de las voladuras es:

- Voladura #150: 98 datos
- Voladura #152: 84 datos
- Voladura #274: 155 datos
- Voladura #282: 73 datos
- Voladura #291: 136 datos
- Voladura #292: 121 datos

- Voladura #304: 126 datos
- Voladura #305: 98 datos

En la tabla 5.13 se muestra la estadística de la población total (891 datos) de las voladuras planificadas con el software.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 1.4033 |
| Moda | 1.4955 |
| Mediana | 1.4330 |
| Desviación Media | 0.4381 |
| Desviación Estándar | 0.5310 |
| Varianza | 0.2820 |

Tabla 5.13. Estadística del Total de la Población de las Voladuras No Planificadas con el Software.

5.3. VOLADURAS PLANIFICADAS POR EL SOFTWARE DRILL & BLAST

5.3.1. Voladura #229.

Esta voladura corresponde a una combinación de Bajo Manto y convencional realizada el día 24/06/2001, en la fosa Baqueta de la mina Paso Diablo, desde el nivel cero (0) hasta el nivel -12, con un área total 6,854.56 m².

- Coordenadas del Bloque de la voladura:
 1. 798540.8491 1221816.6960
 2. 798540.8491 1221876.6960
 3. 798420.0200 1221876.6960
 4. 798420.1970 1221875.5498
 5. 798423.0180 1221856.4433
 6. 798423.3442 1221855.1583
 7. 798425.5722 1221849.2500

| | | |
|------------|-------------|--------------|
| 8. | 798428.6335 | 1221838.8573 |
| 9. | 798430.8254 | 1221830.2702 |
| 10. | 798434.2441 | 1221821.8350 |
| 11. | 798436.1506 | 1221816.5819 |
| 12. | 798540.8491 | 1221816.6960 |

Las dimensiones del bloque a volar fueron: 120 metros el tramo más largo, 104 metros el tramo más corto y 60 metros de ancho. Metros cúbicos de estéril: 58,897.40 m³ (según repote de Mincom). Mantos asociados a la voladura: 6Ø_6M_6K. El manto 6K no se removió, debido a que su espesor era menor de 0.5 metros. El manto 6M se presentó con un espesor promedio de 3 metros. Un total de 16,674.80 toneladas de carbón se encuentran en el bloque de la voladura según Mincom.

- Patrón de Perforación: en trebolillo

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 1: 4.7 metros de retiro y 5.3 metros de espaciamiento. Profundidad entre 4 y 5 metros.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 2 y 3: 5.6 metros de retiro y 6.4 metros de espaciamiento. Profundidades entre 5 y 9 metros.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 4 hasta 16: 7.5 metros de retiro y 8.5 metros de espaciamiento. Profundidades entre 9 y 14 metros.

- Cantidad de Barrenos: 114 Barrenos
- La distancia para proteger al carbón se tomo en un (1) metro.

(a) Carga de los Barrenos:

Para separar las cargas dentro de los barrenos se utilizo tanto Para Plug como Gas Bag. Como taco se utilizó detritus resultado de la perforación de los barrenos.

(b) Explosivos:

Emulsión (Apex-La): 30,434.00 Kgs

Búster 0.45 Grs: 71.5 Kgs

Cordón Det 0.5 gr: 250

(c) Accesorios:

Mecha de seguridad (mts): 3

Fulminante (8 ms): 2

Retardo 42 ms 40 ft: 114

Retardo 100 ms 40 ft: 15

Nonel 12,500 ms 30 ft: 43

Nonel 12,500 ms 40 ft: 26

Nonel 12,500 ms 60 ft: 35

Nonel 12,500 ms 80 ft: 39

Para Plug: 19

Gas Bag: 29

(d) Factor de carga: 0.50 Kg/m³

Para el amarre se utilizaron retardos de 17 ms entre barreno y barreno, y 42 ms entre línea y línea, con salida por el centro en forma de zanja.

5.3.2. Voladura #237.

Esta voladura corresponde a una combinación de Bajo Manto y convencional realizada el día 29/06/2001, en la fosa Baqueta de la mina Paso Diablo, desde el nivel cero (0) hasta el nivel -12, con un área total de 7,690.62 m².

- Coordenadas del Bloque de la voladura:

| | | |
|----|-------------|--------------|
| 1. | 798540.8491 | 1221936.6672 |
| 2. | 798405.2038 | 1221936.6672 |
| 3. | 798405.2668 | 1221936.4749 |
| 4. | 798406.8791 | 1221929.5397 |
| 5. | 798410.1411 | 1221917.8211 |
| 6. | 798410.6457 | 1221913.2427 |
| 7. | 798412.0297 | 1221904.6583 |
| 8. | 798414.1079 | 1221899.1343 |

| | |
|------------------------|--------------|
| 9. 798419.5148 | 1221880.1704 |
| 10. 798420.0063 | 1221876.8417 |
| 11. 798540.8491 | 1221876.6960 |
| 12. 798540.8491 | 1221936.6672 |

Las dimensiones del bloque a volar fueron de 135 metros el tramo más largo, 120 metros el tramo más corto y 60 metros de ancho. Metros cúbicos de estéril: 55,394.60 m³ (según reporte de Mincom). No incluye el Full Face. Mantos asociados a la voladura: 6Ø_6M_6K. El manto 6K no se removió, debido a que su espesor era menor de 0.5 metros. El manto 6M tiene un espesor promedio de 3 metros. Un total de 14,586.10 toneladas de carbón se encuentran en el bloque de la voladura según Mincom.

- Patrón de perforación: en trebolillo.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 1, 2 y 3: 4.7 metros de retiro y 5.3 metros de espaciamento. Profundidad entre 4 y 5 metros.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 4 y 5: 5.6 metros de retiro y 5.4 metros de espaciamento. Profundidades entre 5 y 9 metros.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 6 hasta 16: 7.5 metros de retiro y 8.5 metros de espaciamento. Profundidades entre 9 y 14 metros.

Dimensiones del Patrón de Perforación (cuadrado) de líneas 16 hasta 19: 10 metros de retiro y 10 metros de espaciamento. Profundidades de 14 metros.

- Cantidad de Barrenos: 141 Barrenos.
- La distancia para proteger al carbón se tomo en un (1) metro.

Comentarios: Desde la línea 1 hasta la línea 5 correspondía a una cuña superior para el destape del manto 6Ø. Desde la línea 6 hasta la 15 se atravesó el manto 6M hasta llegar a los 14 metros de perforación (excepto la línea 14 y zonas de las línea 15 en donde se llevo hasta el techo del manto 6M) correspondiendo un Bajo Manto. A partir de la línea 16 hasta la 19 correspondió a un Full Face. Se utilizó gas bag en las líneas 5 hasta 12 y en las demás líneas se utilizó para plug.

(a) Carga de Barrenos:

Para Separar las cargas dentro de los barrenos se utilizo tanto Para Plug como Gas Bag, Como taco se utilizó detritus resultado de la perforación de los barrenos.

(b) Explosivos:

Emulsión (Apex-La): 21,561.0 Kgs

Búster 0.45 Grs: 66 Kgs

(c) Accesorios:

Mecha de Seguridad (mts): 3

Fulminante (8 ms): 2

Retardo 17 ms 40 ft: 99

Retardo 42 ms 40 ft: 15

Nonel 12,500 ms 40 ft: 20

Nonel 12,500 ms 60 ft: 87

Nonel 12,500 ms 80 ft: 22

Nonel 12,400 ms 40 ft: 3

Para Plug: 68

Gas Bag: 32

Contrapesos: 96

(d) Factor de Cama: 0.39 Kg/m^3

Para el amarre se utilizaron retardos de 17 ms entre barreno y barreno, y 42 ms entre línea y línea, con salida por el centro en forma de zanja.

5.3.3. Voladura #245.

Esta voladura corresponde a una combinación de Bajo Manto y convencional realizada el día 04/07/2001, en fosa Baqueta de la mina Paso Diablo, desde el nivel cero (0) al nivel -12 con un área total de $7,718.05 \text{ m}^2$.

- Coordenadas del Bloque de la voladura:

1. 798405.2373 1221936.6016

- | | | |
|----|-------------|--------------|
| 2. | 798540.8491 | 1221936.9029 |
| 3. | 798540.8576 | 1221990.7948 |
| 4. | 798391.2634 | 1221990.9479 |

Las dimensiones del bloque fueron: 149.5 metros el tramo más largo, 135.6 metros el tramo más corto y 60 metros de ancho. Metros cúbicos de estéril: 67,785.70 m³ (según reporte de Mincom). No incluye el Full Face. Los mantos asociados a la voladura: 6Ø_6M_6K. El manto 6K no se removió, debido a que su espesor era menor de 0.5 metros. El manto 6M tiene un espesor promedio de 3 metros.

Un total de 8,492.9 toneladas de cartón se encuentran en el bloque de la voladura según Mincom.

- Patrón de perforación: en trebolillo.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 1 hasta 5: 4.7 metros de retiro y 5.3 metros de espaciamento. Profundidad entre 4 y 5 metros.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 6 y 7: 5.6 metros de retiro y 6.4 metros de espaciamento. Profundidades entre 5 y 9 metros.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 8 hasta 15: 7.5 metros de retiro y 8.5 metros de espaciamento. Profundidades entre 9 y 14 metros.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 16 hasta 22: 10 metros de retiro y 10 metros de espaciamento. Profundidades de 14 metros.

- Cantidad de Barrenos: 164 Barrenos.
- La distancia para proteger al carbón se tomo en un (1) metro.

Comentarios: Desde la línea 1 hasta la línea 5 correspondía a una cuña superior para el destape del manto 6Ø. Desde la línea 6 hasta la 15 se atravesó el manto 6M hasta llegar a los 14 metros de perforación (excepto la línea 14 y zonas de la línea 15 en donde se llego hasta el techo del manto 6M), correspondiendo un Bajo Manto. A partir de la línea 16 hasta la 22 correspondió a un Full Face.

(a) Carga de los Barrenos:

Para Separar las cargas dentro de los barrenos se utilizo tanto Para Plug como Gas Bag. Como taco se utilizó detritus resultado de la perforación de los barrenos.

(b) Explosivos:

Emulsión (Apex-La): 31,516.0 Kgs

Búster 0.45 Grs: 83.5 Kgs

(c) Accesorios:

Mecha de Seguridad (mts): 3

Fulminante (8ms): 2

Retardo 17 ms 40 ft: 71

Retardo 42 ms 40 ft: 44

Retardo 100 ms 40 ft: 7

Nonel 12,500 ms 40 ft: 99

Nonel 12,500 ms 60 ft: 88

Para Plug: 117

Gas Bag: 30

Contrapesos: 130

(d) Factor de Carga: 0.47 Kg/m³

Para el amarre se utilizaron retardos de 17 ms entre barreno y barreno, y 42 ms entre línea y línea, con salida por el centro en forma de zanja.

5.3.4. Voladura #280.

Esta voladura es una combinación de Bajo Manto y convencional realizada el día 28/07/2001, en la fosa Baqueta de la mina Paso Diablo desde el nivel cero (0) hasta el nivel -12, con un área total de 10,919.10 m².

- Coordenadas del Bloque de la voladura:
 1. 798321.3971 1222052.8712
 2. 798504.1620 1222053.4233

3. 798522.7643 1221993.1761

4. 798340.0000 1221993.1764

Las dimensiones del bloque fueron de 182.5 metros de largo y 60 metros de ancho. Metros cúbicos de estéril: 108,800.0 m³ (según reporte de Mincom). Los mantos asociados a la voladura: 6Ø_6M_6K_6Q. E manto 6K no se removió, debido a que su espesor era menor de 0.5 metros. El manto 6M tiene un espesor promedio de 3 metros.

Un total de 9,253.8 toneladas de carbón 6M se encuentran en el bloque de a voladura según Mincom.

Un total de 12,764.6 toneladas de Carbón 6Ø se encuentran en el bloque de la voladura según Mincom.

- Patrón de perforación. en trebolillo

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 1: 4.7 metros de retiro y 5.3 metros de espaciamiento. Profundidad entre 4 y 5 metros.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 2 hasta 3: 5.6 metros de retiro y 6.4 metros de espaciamiento. Profundidad entre 5 y 9 metros.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 4 hasta 20: 7.5 metros de retiro y 8.5 metros de espaciamiento. Profundidades entre 9 y 14 metros.

- Cantidad de Barrenos 187 Barrenos.
- La distancia para proteger al carbón se tomo en un (1) metro.

(a) Carga de los Barrenos:

Para separar las cargas dentro de los barrenos se utilizo tanto Para Plug como Gas Bag. Como taco se utilizó detritus resultado de la perforación de los barrenos.

(b) Explosivos:

Emulsión (Apex-La): 50,528.0 Kgs

ANFO: 1521 Kgs

Búster: 0.45 Grs: 127 Kgs

(c) Accesorios:

Mecha de Seguridad (mts): 3

Fulminante (8ms): 2
Retardo 17 ms 40 ft: 117
Retardo 42 ms 40 ft: 48
Retardo 100 ms 40 ft: 4
Nonel 12,500 ms 30 ft: 81
Nonel 12,500 ms 40 ft: 77
Nonel 12,500 ms 60 ft: 89
Nonel 12,500 ms 80 ft: 28
Para Plug: 164
Gas Bag: 67
Contrapesos: 240

(d) Factor de Carga: 0.49 Kg/m^3

Para el amarre se utilizaron retardos de 17 ms entre barreno y barreno, y 42 ms entre línea y línea, para el área de la cuña y bajo manto. Para el área del frente completo, los tiempos de retardos consistieron en 42 ms entre barreno y barreno, y 100 ms entre línea y línea, con salida por el centro, en forma de zanja.

5.3.5. Voladura #313.

Esta voladura es una combinación de Bajo Manto y convencional realizada el día 14/08/2001, en la fosa Baqueta de la mina Paso Diablo, desde el nivel -12 hasta el nivel -24, con un área total de $14,236.13 \text{ m}^2$.

- Coordenadas de Bloque de la voladura:

| | | |
|----|-------------|--------------|
| 1. | 798424.7162 | 1221382.4781 |
| 2. | 798452.8343 | 1221483.2429 |
| 3. | 798568.9460 | 1221483.2429 |
| 4. | 798588.9460 | 1221384.9051 |
| 5. | 798542.3722 | 1221384.9051 |
| 6. | 798511.4371 | 1221374.8309 |

7. 798467.8200 1221365.0754

8. 798440.0131 12213624780

Metros cúbicos de estéril: 173,590.0 m³ (según reporte de Mincom).
Los mantos asociados a la voladura: 6Ø_6M_6K. El manto 6K no se removió debido a que su espesor era menor de 0.5 metros. El manto 6M tiene un espesor promedio de 2 metros El manto 6Ø tiene un espesor promedio de 3 metros. Un total de 17,347.49 toneladas de carbón 6Ø se encuentra en el bloque de la voladura según Mincom.

Un total de 31,427.51 toneladas de carbón 6M se encuentran en el bloque de la voladura según Mincom.

- Patrón de perforación: en trebolillo.

Dimensiones del Patrón de Perforación de líneas 1 hasta 16: 7.5 metros de retiro y 8.5 metros de espaciamento. Profundidades entre 9 y 14 metros. A Diferencia de las otras voladuras las perforaciones se realizaron de oeste a este. Las perforaciones de las voladuras anteriores se realizaron de sur a norte.

- Cantidad de Barrenos: 211 Barrenos.
- La distancia para proteger al carbón se tomo en un (1) metro.

(a) Carga de los Barrenos:

Para Separar las cargas dentro de los barrenos se utilizo tanto Para Plug como Gas Bag. Como taco se utilizó detritus resultado de la perforación de los barrenos.

(b) Explosivos:

Emulsión (Apex-La): 60,280.0 Kgs

Búster 0.45 Grs: 209.5 Kgs

(c) Accesorios:

Mecha de Seguridad (mts): 3

Fulminante (8ms): 2

Retardo 17 ms 40 ft: 288

Retardo 42 ms 40 ft: 22

Nonel 12,500 ms 30 ft: 115

Nonel 12,500 ms 40 ft: 105

Nonel 12,500 ms 60 ft: 188

Nonel 12,500 ms 80 ft: 11

Para Plug: 221

Gas Bag: 77

Contrapesos: 270

(d) Factor de Carga: 0.39 Kg/m³

Para el amarre se utilizaron retardos de 17 ms entre barreno y barreno, y 42 ms entre línea y línea, con salida por el centro en forma de zanja.

5.4. RESULTADOS

5.4.1. Productividad.

En las siguientes tablas se ilustran los valores de productividades obtenidas en las perforadoras utilizadas para perforar los bloques de voladura planificados con el software Drill & Blast.

Los datos se reflejan por número de perforadora, fecha y turno en la cual dicho equipo estuvo operando en el bloque de la voladura.

Cada turno diurno (D) y nocturno (N) consta de 12 horas de duración lo que corresponde el tiempo total.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Producción | Metros lineales | Productividad |
|-------------|-------|------------|------------------|-----------------|---------------|
| 1312 | D | 21/06/2001 | 8.83 | 303 | 34.30 M/H |
| 1312 | N | 21/06/2001 | 7.67 | 248 | 32.35 M/H |
| 1309 | D | 21/06/2001 | 7.67 | 256 | 33.39 M/H |
| 1309 | N | 21/06/2001 | 9.58 | 551 | 57.52 M/H |
| 1312 | D | 22/06/2001 | 4.00 | 154 | 38.50 M/H |

Tabla 5.14. Productividad de Perforadoras utilizadas en Voladura #229.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Producción | Metros lineales | Productividad |
|-------------|-------|------------|------------------|-----------------|---------------|
| 1311 | D | 23/06/2001 | 5.33 | 336 | 63.00 M/H |
| 1311 | N | 23/06/2001 | 8.92 | 409 | 45.87 M/H |
| 1309 | D | 23/06/2001 | 8.50 | 329 | 38.71 M/H |
| 1312 | D | 25/06/2001 | 8.50 | 450 | 52.94 M/H |
| 1311 | D | 22/06/2001 | 6.50 | 256 | 39.38 M/H |
| 1311 | D | 25/06/2001 | 9.33 | 230 | 24.64 M/H |
| 1309 | D | 22/06/2001 | 4.67 | 190 | 40.71 M/H |

Tabla 5.15. Productividad de Perforadoras utilizadas en Voladura #237.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Producción | Metros lineales | Productividad |
|-------------|-------|------------|------------------|-----------------|---------------|
| 1308 | D | 28/06/2001 | 1.83 | 84 | 45.82 M/H |
| 1308 | N | 28/06/2001 | 5.50 | 217 | 39.45 M/H |
| 1309 | D | 28/06/2001 | 5.00 | 228 | 45.60 M/H |
| 1309 | N | 28/06/2001 | 6.83 | 327 | 47.85 M/H |
| 1309 | D | 29/06/2001 | 4.00 | 131 | 32.75 M/H |
| 1309 | N | 29/06/2001 | 3.17 | 157 | 49.58 M/H |

Tabla 5.16. Productividad de Perforadoras utilizadas en Voladura #245.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Producción | Metros lineales | Productividad |
|-------------|-------|------------|------------------|-----------------|---------------|
| 1311 | D | 18/07/2001 | 7.17 | 281 | 39.21 M/H |
| 1309 | D | 24/07/2001 | 7.33 | 344 | 46.91 M/H |

Tabla 5.17. Productividad de Perforadoras utilizadas en Voladura #280.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Producción | Metros lineales | Productividad |
|-------------|-------|------------|------------------|-----------------|---------------|
| 1309 | D | 06/08/2001 | 8.50 | 400 | 47.06 M/H |
| 1309 | N | 06/08/2001 | 7.75 | 365 | 47.10 M/H |
| 1309 | D | 07/08/2001 | 8.50 | 284 | 33.41 M/H |
| 1309 | N | 07/08/2001 | 4.42 | 195 | 44.15 M/H |
| 1309 | D | 09/08/2001 | 7.50 | 345 | 46.00 M/H |
| 1311 | N | 06/08/2001 | 8.92 | 353 | 39.59 M/H |
| 1311 | N | 09/08/2001 | 6.75 | 346 | 51.26 M/H |
| 1312 | D | 10/08/2001 | 3.83 | 120 | 31.30 M/H |
| 1312 | N | 10/08/2001 | 3.00 | 95 | 31.67 M/H |
| 1311 | D | 10/08/2001 | 8.00 | 397 | 49.63 M/H |
| 1311 | N | 10/08/2001 | 7.75 | 284 | 36.65 M/H |
| 1311 | D | 11/08/2001 | 9.00 | 350 | 38.89 M/H |
| 1309 | D | 11/08/2001 | 2.50 | 60 | 24.00 M/H |
| 1309 | N | 11/08/2001 | 5.00 | 202 | 40.40 M/H |

Tabla 5.18. Productividad de Perforadoras utilizadas en Voladura #313.

En la tabla 5.19 se muestra los resultados promedios de productividades por perforadora y además se muestra el promedio total de productividad para las perforadoras empleadas en las voladuras planificadas con el software Drill & Blast, el cual presenta un valor de “41.46 m/h”.

| Perforadora | Productividad (m/h) |
|----------------|---------------------|
| 1308 | 42.64 |
| 1309 | 42.20 |
| 1311 | 42.81 |
| 1312 | 36.84 |
| Promedio Total | 41.46 |

Tabla 5.19. Promedio de Productividades por Perforadora Voladuras planificadas con el Software.

5.4.2. Disponibilidad Física y Mecánica.

En las siguientes tablas se ilustran los valores de disponibilidades físicas y mecánicas obtenidas en las perforadoras utilizadas para perforar los bloques de voladura planificados con el software Drill & Blast. Los datos se reflejan por número de perforadora, fecha y turno en la cual dicho equipo estuvo operando en el bloque de la voladura. Cada turno diurno (D) y nocturno (N) consta de 12 horas de duración lo que corresponde el tiempo total. Para la disponibilidad física se usa el tiempo de demora y en la disponibilidad mecánica se hace uso del tiempo de reparación.

| Perforadora | Turno | Fecha | Total Horas | Horas Demora | Horas Producción | DF |
|-------------|-------|------------|-------------|--------------|------------------|---------|
| 1312 | D | 21/06/2001 | 12 | 3.17 | 8.83 | 100.00% |
| 1312 | N | 21/06/2001 | 12 | 1.00 | 7.67 | 72.22% |
| 1309 | D | 21/06/2001 | 12 | 1.83 | 7.67 | 79.17% |
| 1309 | N | 21/06/2001 | 12 | 2.42 | 9.58 | 100.00% |
| 1312 | D | 22/06/2001 | 12 | 8.00 | 4.00 | 100.00% |

Tabla 5.20. Disponibilidades Físicas Perforadoras utilizadas en Voladura#229.

| Perforadora | Turno | Fecha | Total Horas | Hora Demora | Horas Producción | DF |
|-------------|-------|------------|-------------|-------------|------------------|---------|
| 1311 | D | 23/06/2001 | 12 | 3.50 | 5.33 | 73.61% |
| 1311 | N | 23/06/2001 | 12 | 3.08 | 8.92 | 100.00% |
| 1309 | D | 23/06/2001 | 12 | 3.50 | 8.50 | 100.00% |
| 1312 | D | 25/06/2001 | 12 | 3.50 | 8.50 | 100.00% |
| 1311 | D | 22/06/2001 | 12 | 5.50 | 6.50 | 100.00% |
| 1311 | D | 25/06/2001 | 12 | 2.67 | 9.33 | 100.00% |
| 1309 | D | 22/06/2001 | 12 | 2.83 | 4.67 | 62.50% |

Tabla 5.21. Disponibilidades Físicas Perforadoras utilizadas en Voladura#237.

| Perforadora | Turno | Fecha | Total Horas | Horas Demora | Horas Producción | DF |
|-------------|-------|------------|-------------|--------------|------------------|---------|
| 1308 | D | 28/06/2001 | 12 | 10.17 | 1.83 | 100.00% |
| 1308 | N | 28/06/2001 | 12 | 4.33 | 5.50 | 81.94% |
| 1309 | D | 28/06/2001 | 12 | 6.00 | 5.00 | 91.67% |
| 1309 | N | 28/06/2001 | 12 | 5.17 | 6.83 | 100.00% |
| 1309 | D | 29/06/2001 | 12 | 2.17 | 4.00 | 51.39% |
| 1309 | N | 29/06/2001 | 12 | 2.17 | 3.17 | 44.44% |

Tabla 5.22. Disponibilidades Físicas Perforadoras utilizadas en Voladura#245.

| Perforadora | Turno | Fecha | Total Horas | Horas Demora | Horas Producción | DF |
|-------------|-------|------------|-------------|--------------|------------------|--------|
| 1311 | D | 18/07/2001 | 12 | 2.17 | 7.17 | 77.78% |
| 1309 | D | 24/07/2001 | 12 | 2.17 | 7.33 | 79.17% |

Tabla 5.23. Disponibilidades Físicas Perforadoras utilizadas en Voladura#280.

| Perforadora | Turno | Fecha | Total Horas | Horas Demora | Horas Producción | DF |
|-------------|-------|------------|-------------|--------------|------------------|---------|
| 1309 | D | 06/08/2001 | 12 | 3.17 | 8.50 | 97.22% |
| 1309 | N | 06/08/2001 | 12 | 3.92 | 7.75 | 97.22% |
| 1309 | D | 07/08/2001 | 12 | 2.50 | 8.50 | 91.67% |
| 1309 | N | 07/08/2001 | 12 | 0.92 | 4.42 | 44.44% |
| 1309 | D | 09/08/2001 | 12 | 1.50 | 7.50 | 75.00% |
| 1311 | N | 06/08/2001 | 12 | 3.08 | 8.92 | 100.00% |
| 1311 | N | 09/08/2001 | 12 | 5.25 | 6.75 | 100.00% |
| 1312 | D | 10/08/2001 | 12 | 4.67 | 3.83 | 70.83% |
| 1312 | N | 10/08/2001 | 12 | 1.50 | 3.00 | 37.50% |
| 1311 | D | 10/08/2001 | 12 | 2.17 | 8.00 | 84.72% |
| 1311 | N | 10/08/2001 | 12 | 3.92 | 7.75 | 97.22% |
| 1311 | D | 11/08/2001 | 12 | 3.00 | 9.00 | 100.00% |
| 1309 | D | 11/08/2001 | 12 | 6.33 | 2.50 | 73.61% |
| 1309 | N | 11/08/2001 | 12 | 1.17 | 5.00 | 51.39% |

Tabla 5.24. Disponibilidades Físicas Perforadoras utilizadas en Voladura#313.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Reparación | Horas Producción | DM |
|-------------|-------|------------|------------------|------------------|---------|
| 1312 | D | 21/06/2001 | 0.00 | 8.83 | 100.00% |
| 1312 | N | 21/06/2001 | 3.33 | 7.67 | 69.70% |
| 1309 | D | 21/06/2001 | 2.50 | 7.67 | 75.41% |
| 1309 | N | 21/06/2001 | 0.00 | 9.58 | 100.00% |
| 1312 | D | 22/06/2001 | 0.00 | 4.00 | 100.00% |

Tabla 5.25. Disponibilidades Mecánicas Perforadoras utilizadas en Voladura#229.

| Perforadora | Turno | Fecha | Hora Reparación | Horas Producción | DM |
|-------------|-------|------------|-----------------|------------------|---------|
| 1311 | D | 23/06/2001 | 3.17 | 5.33 | 62.71% |
| 1311 | N | 23/06/2001 | 0.00 | 8.92 | 100.00% |
| 1309 | D | 23/06/2001 | 0.00 | 8.50 | 100.00% |
| 1312 | D | 25/06/2001 | 0.00 | 8.50 | 100.00% |
| 1311 | D | 22/06/2001 | 0.00 | 6.50 | 100.00% |
| 1311 | D | 25/06/2001 | 0.00 | 9.33 | 100.00% |
| 1309 | D | 22/06/2001 | 4.50 | 4.67 | 50.91% |

Tabla 5.26. Disponibilidades Mecánicas Perforadoras utilizadas en Voladura#237.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Reparación | Horas Producción | DM |
|-------------|-------|------------|------------------|------------------|---------|
| 1308 | D | 28/06/2001 | 0.00 | 1.83 | 100.00% |
| 1308 | N | 28/06/2001 | 2.17 | 5.50 | 71.74% |
| 1309 | D | 28/06/2001 | 1.00 | 5.00 | 83.33% |
| 1309 | N | 28/06/2001 | 0.00 | 6.83 | 100.00% |
| 1309 | D | 29/06/2001 | 5.83 | 4.00 | 40.69% |
| 1309 | N | 29/06/2001 | 6.67 | 3.17 | 32.20% |

Tabla 5.27. Disponibilidades Mecánicas Perforadoras utilizadas en Voladura#245.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Reparación | Horas Producción | DM |
|-------------|-------|------------|------------------|------------------|--------|
| 1311 | D | 18/07/2001 | 2.67 | 7.17 | 72.88% |
| 1309 | D | 24/07/2001 | 2.50 | 7.33 | 74.58% |

Tabla 5.28. Disponibilidades Mecánicas Perforadoras utilizadas en Voladura#280.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Reparación | Horas Producción | DM |
|-------------|-------|------------|------------------|------------------|---------|
| 1309 | D | 06/08/2001 | 0.33 | 8.50 | 96.23% |
| 1309 | N | 06/08/2001 | 0.33 | 7.75 | 95.88% |
| 1309 | D | 07/08/2001 | 1.00 | 8.50 | 89.47% |
| 1309 | N | 07/08/2001 | 6.67 | 4.42 | 39.85% |
| 1309 | D | 09/08/2001 | 3.00 | 7.50 | 71.43% |
| 1311 | N | 06/08/2001 | 0.00 | 8.92 | 100.00% |
| 1311 | N | 09/08/2001 | 0.00 | 6.75 | 100.00% |
| 1312 | D | 10/08/2001 | 3.50 | 3.83 | 52.27% |
| 1312 | N | 10/08/2001 | 7.50 | 3.00 | 28.57% |
| 1311 | D | 10/08/2001 | 1.83 | 8.00 | 81.36% |
| 1311 | N | 10/08/2001 | 0.33 | 7.75 | 95.88% |
| 1311 | D | 11/08/2001 | 0.00 | 9.00 | 100.00% |
| 1309 | D | 11/08/2001 | 3.17 | 2.50 | 44.12% |
| 1309 | N | 11/08/2001 | 5.83 | 5.00 | 46.15% |

Tabla 5.29. Disponibilidades Mecánicas Perforadoras utilizadas en Voladura#313.

En la tabla 5.30 se muestra los resultados promedios de disponibilidad física por perforadora y además se muestra el promedio total de disponibilidad física para las perforadoras empleadas en las voladuras planificadas con el software Drill & Blast, el cual presenta un valor 83.37%.

| Perforadora | Disponibilidad Física (%) |
|----------------|---------------------------|
| 1308 | 90.97% |
| 1309 | 77.43% |
| 1311 | 93.33% |
| 1312 | 80.09% |
| Promedio Total | 83.37% |

Tabla 5.30. Promedio de Disponibilidades Físicas por Perforadora en Voladuras Planificadas con el Software.

En la tabla 5.31 se muestra los resultados promedios de disponibilidad mecánica por perforadora y además se muestra el promedio total de

disponibilidad mecánica para las perforadoras empleadas en las voladuras planificadas con el software Drill & Blast, el cual presenta un valor 78.69%.

| Perforadora | Disponibilidad Mecánica (%) |
|----------------|-----------------------------|
| 1308 | 85.87% |
| 1309 | 71.27% |
| 1311 | 91.29% |
| 1312 | 75.09% |
| Promedio Total | 78.69% |

Tabla 5.31. Promedio de Disponibilidades Mecánicas por Perforadora en Voladuras Planificadas con el Software.

5.4.3. Utilización de la Disponibilidad Física.

En las siguientes tablas se ilustran los valores de utilización de la disponibilidad física obtenidos en las perforadoras utilizadas para perforar los bloques de voladura planificados con el software Drill & Blast. Los datos se reflejan por número de perforadora, fecha y turno en la cual dicho equipo estuvo operando en el bloque de la voladura. Cada turno diurno (D) y nocturno (N) consta de 12 horas de duración lo que corresponde el tiempo total. Para la utilización de la disponibilidad física se usa el tiempo de demora.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Demora | Horas Producción | Utilización |
|-------------|-------|------------|--------------|------------------|-------------|
| 1312 | D | 21/06/2001 | 3.17 | 8.83 | 73.61% |
| 1312 | N | 21/06/2001 | 1.00 | 7.67 | 88.46% |
| 1309 | D | 21/06/2001 | 1.83 | 7.67 | 80.70% |
| 1309 | N | 21/06/2001 | 2.42 | 9.58 | 79.86% |
| 1312 | D | 22/06/2001 | 8.00 | 4.00 | 33.33% |

Tabla 5.32. Utilización de Perforadoras utilizadas en Voladura #229.

| Perforadora | Turno | Fecha | Hora Demora | Horas Producción | Utilización |
|-------------|-------|------------|-------------|------------------|-------------|
| 1311 | D | 23/06/2001 | 3.50 | 5.33 | 60.38% |
| 1311 | N | 23/06/2001 | 3.08 | 8.92 | 74.31% |
| 1309 | D | 23/06/2001 | 3.50 | 8.50 | 70.83% |
| 1312 | D | 25/06/2001 | 3.50 | 8.50 | 70.83% |
| 1311 | D | 22/06/2001 | 5.50 | 6.50 | 54.17% |
| 1311 | D | 25/06/2001 | 2.67 | 9.33 | 77.78% |
| 1309 | D | 22/06/2001 | 2.83 | 4.67 | 62.22% |

Tabla 5.33. Utilización de Perforadoras utilizadas en Voladura #237.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Demora | Horas Producción | Utilización |
|-------------|-------|------------|--------------|------------------|-------------|
| 1308 | D | 28/06/2001 | 10.17 | 1.83 | 15.28% |
| 1308 | N | 28/06/2001 | 4.33 | 5.50 | 55.93% |
| 1309 | D | 28/06/2001 | 6.00 | 5.00 | 45.45% |
| 1309 | N | 28/06/2001 | 5.17 | 6.83 | 56.94% |
| 1309 | D | 29/06/2001 | 2.17 | 4.00 | 64.86% |
| 1309 | N | 29/06/2001 | 2.17 | 3.17 | 59.38% |

Tabla 5.34. Utilización de Perforadoras utilizadas en Voladura #245.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Demora | Horas Producción | Utilización |
|-------------|-------|------------|--------------|------------------|-------------|
| 1311 | D | 18/07/2001 | 2.17 | 7.17 | 76.79% |
| 1309 | D | 24/07/2001 | 2.17 | 7.33 | 77.19% |

Tabla 5.35. Utilización de Perforadoras utilizadas en Voladura #280.

| Perforadora | Turno | Fecha | Horas Demora | Horas Producción | Utilización |
|-------------|-------|------------|--------------|------------------|-------------|
| 1309 | D | 06/08/2001 | 3.17 | 8.50 | 72.86% |
| 1309 | N | 06/08/2001 | 3.92 | 7.75 | 66.43% |
| 1309 | D | 07/08/2001 | 2.50 | 8.50 | 77.27% |
| 1309 | N | 07/08/2001 | 0.92 | 4.42 | 82.81% |
| 1309 | D | 09/08/2001 | 1.50 | 7.50 | 83.33% |
| 1311 | N | 06/08/2001 | 3.08 | 8.92 | 74.31% |
| 1311 | N | 09/08/2001 | 5.25 | 6.75 | 56.25% |
| 1312 | D | 10/08/2001 | 4.67 | 3.83 | 45.10% |
| 1312 | N | 10/08/2001 | 1.50 | 3.00 | 66.67% |
| 1311 | D | 10/08/2001 | 2.17 | 8.00 | 78.69% |
| 1311 | N | 10/08/2001 | 3.92 | 7.75 | 66.43% |
| 1311 | D | 11/08/2001 | 3.00 | 9.00 | 75.00% |
| 1309 | D | 11/08/2001 | 6.33 | 2.50 | 28.30% |
| 1309 | N | 11/08/2001 | 1.17 | 5.00 | 81.08% |

Tabla 5.36. Utilización de Perforadoras utilizadas en Voladura #313.

En la tabla 5.37 se muestra los resultados promedios de la utilización de la disponibilidad física por perforadora y además se muestra el promedio total de utilización para las perforadoras empleadas en las voladuras planificadas con el software Drill & Blast, el cual presenta un valor 65.67%.

| Perforadora | Utilización (%) |
|----------------|-----------------|
| 1308 | 35.61% |
| 1309 | 68.09% |
| 1311 | 69.41% |
| 1312 | 63.00% |
| Promedio Total | 65.67% |

Tabla 5.37. Promedio de Utilización de la Disponibilidad Física por Perforadora en Voladuras Planificadas con el Software.

5.4.4. Precisión y Eficiencia de la Perforación.

De igual manera que se hiciera en los datos de control se evaluó la precisión y la eficiencia de la ubicación de la perforación de los barrenos, la única diferencia en este caso es que se realizó el levantamiento de las perforaciones empleando sistema de posicionamiento global (GPS).

En las siguientes tablas se observan los datos estadísticos obtenidos para cada una de las voladuras planificadas con el software. Todos los datos están expresados en metros.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 0.2347 |
| Moda | 0.3017 |
| Mediana | 0.2395 |
| Desviación Media | 0.0718 |
| Desviación Estándar | 0.0869 |
| Varianza | 0.0076 |

Tabla 5.38. Estadística Voladura #229.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 0.2300 |
| Moda | 0.2922 |
| Mediana | 0.2306 |
| Desviación Media | 0.0654 |
| Desviación Estándar | 0.0799 |
| Varianza | 0.0064 |

Tabla 5.39. Estadística Voladura #237.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 0.1989 |
| Moda | 0.2249 |
| Mediana | 0.2080 |
| Desviación Media | 0.0726 |
| Desviación Estándar | 0.0873 |
| Varianza | 0.0076 |

Tabla 5.40. Estadística Voladura #245.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------------|
| Media Aritmética | 0.1987 |
| Moda | 0.2400 / 0.2640 |
| Mediana | 0.2110 |
| Desviación Media | 0.0606 |
| Desviación Estándar | 0.0719 |
| Varianza | 0.0052 |

Tabla 5.41. Estadística Voladura #280.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 0.1650 |
| Moda | 0.1920 |
| Mediana | 0.1734 |
| Desviación Media | 0.0446 |
| Desviación Estándar | 0.0541 |
| Varianza | 0.0029 |

Tabla 5.42. Estadística Voladura #313.

La población de datos para cada una de las voladuras es:

- Voladura #229: 114 datos
- Voladura #237: 63 datos
- Voladura #245: 164 datos
- Voladura #280: 59 datos
- Voladura #313: 80 datos

En la tabla 5.43 se muestra la estadística de la población total (480 datos) de las voladuras planificadas con el software.

| Medidas Estadísticas | Distancia |
|----------------------|-----------|
| Media Aritmética | 0.1650 |
| Moda | 0.1920 |
| Mediana | 0.1734 |
| Desviación Media | 0.0446 |
| Desviación Estándar | 0.0541 |
| Varianza | 0.0029 |

Tabla 5.43. Estadística del Total de la Población de las Voladuras Planificadas con el Software.

5.4.5. Voladura Planificadas con el Software Drill & Blast.

5.4.5.1. Voladura #229.

Todos los barrenos presentaban agua, fragmentación buena, carga de emulsión en barrenos con agua, densidad del ápex: 1.04. Temperatura del ápex: 66°C. Buena fragmentación visible, un promedio de 10” de los bloques resultantes de la voladura.

Se observó que donde afloraba el manto 6M en las líneas 5 y 6 se fracturó el manto, con grietas notables, lo que indica que hubo un levantamiento del manto. Este levantamiento puede ser motivo de una mala ubicación del gas bag, del esponjamiento del material inferior al manto el cual

fue volado, un mal confinamiento del taco (detrimento de la perforación, al mojarse forma una especie de lodo).

5.4.5.2. Voladura #237.

Todos los barrenos presentaban agua, fragmentación buena, carga de emulsión en barrenos con agua, densidad del ápex: 1.06. Temperatura del ápex: 60 – 58 °C. Se produjo un levantamiento en el bloque debido al esponjamiento del material volado en el fondo pero no se apreció rotura en el techo del manto 6M como en la voladura anterior. Se presenta el mismo problema con el taco debido a que se utilizó el detrimento de la perforación, y se forma una especie de lodo por el agua presente en los barrenos.

El tamaño de los bloques aproximadamente 10”, los equipos de carga que operaron removiendo el estéril no presentaron dificultades, excepto en las líneas del Full Face (bloque del Full Face planificado por el departamento de producción) que se observaron bloques de 20” pulgadas debido a que se dejó 5 m de taco y en ese lugar existe una arenisca asociada al 6K de un metro de espesor que tiene alta resistencia.

5.4.5.3. Voladura #245.

Todos los barrenos presentaban agua, fragmentación buena, carga de emulsión en barrenos con agua, densidad del ápex: 1,05 – 1,07. Temperatura del ápex: 39 °C.

Se produjo un levantamiento en el bloque debido al esponjamiento del material volado en el fondo pero no se apreció rotura en el techo del manto 6M como en la voladura anterior. El tamaño de los bloques aproximadamente 10” y los equipos de carga que operaron removiendo el estéril no presentaron dificultades.

5.4.5.4. Voladura #280.

Todos los barrenos presentaban agua, fragmentación buena, carga de emulsión en barrenos con agua, densidad del ápex: 1,33 – 1,29. Temperatura del ápex: 70 °C. Se utilizó gas bag en las líneas 8, 9,10 y 11, y en las demás líneas se utilizó para plug. La carga de la cuña superior y el Full Face se realizó por el departamento de perforación y voladura.

Se produjo un levantamiento en el bloque debido al esponjamiento del material volado en el fondo pero no se apreció rotura en el techo del manto 6M como en la voladura anterior. Se presenta el mismo problema con el taco debido a que se utilizó el detrito de la perforación, y se forma una especie de lodo por el agua presente en los barrenos. El tamaño de los bloques aproximadamente 10”, los equipos de carga no presentaron dificultades removiendo el estéril. El manto 6M se levanto debido a que la carga colocada por debajo de este fue muy elevada.

5.4.5.5. Voladura #313.

Todos los barrenos presentaban agua, fragmentación buena, carga de emulsión en barrenos con agua, densidad del ápex: 1.05. Temperatura del ápex: 59 °C. El tamaño de los bloques aproximadamente 10”.

Se produjo el mismo problema de levantamiento por la falta de confinamiento del taco. Es imperativo implantar un diámetro mayor en material utilizado como taco.

5.5. ANALISIS DE RESULTADOS

Para la evaluación de los resultados obtenidos con la implantación del software Drill & Blast en las operaciones de perforación y voladura de la mina

Paso Diablo, es imperativo estudiar las ventajas y desventajas que se obtienen al cambiar el proceso de planificación y diseño de las voladuras. Entre los factores que son objeto de evaluación se encuentran la productividad, disponibilidad física y mecánica; y la utilización de los equipos de perforación, además la precisión de la ubicación de las perforaciones, y por último el resultado obtenido en la voladura con respecto a la fragmentación de la roca.

5.5.1. Productividad.

Los equipos de perforación serán el primer factor a evaluar dentro de este análisis. Como primer punto se evaluará la productividad promedio de los equipos de perforación que operaron en las voladuras planificadas con el software, para evaluar estas productividades es necesario compararlas con la productividad promedio diaria determinada por el departamento de producción, es decir, la productividad de los equipos de perforación en las voladuras no planificadas con el software.

Se realizaron cálculos estadísticos mediante la prueba t para un nivel de confianza del 95%, para poder determinar los intervalos de confianza alrededor de la media o promedio, es decir, existe un 95% de conseguir el valor de productividad dentro del mínimo y máximo mostrado en la tabla 5.44. Además se realizó una prueba de factor F para determinar si existía una diferencia apreciable entre las productividades obtenidas en ambos casos.

La disminución notable de la productividad obtenida en la tabla 5.19 con respecto a los datos de control mostrados en la tabla 5.1, no se debe a la implementación del software Drill & Blast en la planificación de las voladuras, demostrado por el estudio de análisis de varianza (mostrado en los anexos) que determinó, que NO existe una diferencia estadísticamente sensible en los tratamientos, es decir, los valores no son representativos y son producto del azar.

| | Promedio | Mínimo | Máximo | Desviación Estándar | R/2 |
|---|----------|--------|--------|---------------------|--------|
| Productividad en Voladuras No Planificadas | 41.71 | 40.73 | 42.69 | 4.1298 | 0.9816 |
| Productividad en Voladuras Planificadas | 41.46 | 38.54 | 44.38 | 8.6873 | 2.9261 |

Tabla 5.44. Intervalos de Confianza de las Productividades de las Perforadoras.

Para poder llegar a una conclusión del efecto directo que tiene la implantación del software en la planificación de las voladuras con respecto a la productividad de los equipos de perforación, es necesario realizar un estudio estadístico con una población de datos mayor a los que se utilizaron en este estudio. Por razones de índole gerencial este proyecto estuvo directamente relacionado a la planificación de las voladuras bajo manto, esto debido a lo complicado de la planificación de las mismas. Por esta complicación las voladuras bajo manto se realizan en periodos de tiempo no muy cercanos, dependiendo de las disponibilidades del departamento de producción. Por esta razón no se pudo recopilar suficientes datos de productividades de los equipos de perforación empleados en las voladuras planificadas.

Cabe destacar que la productividad según la formula 3.1 mostrada en el capítulo III, es la producción (metros lineales de perforación en el caso de los equipos de perforación) dividido entre el tiempo de producción el cual a su vez es igual al tiempo total establecido para producir (turno de 12 horas para la mina paso diablo) menos el tiempo de reparación y el tiempo de demora. Uno de los beneficios obtenidos con la planificación de las voladuras a través del software Drill & Blast es la reducción del tiempo de demora, esto se logra con la eliminación del tiempo de marcado de patrón de perforación el cual se incluye entre los factores de demora. Esta eliminación se logra debido a que con la planificación del patrón mediante el empleo del software

genera tablas y archivos de coordenadas UTM los cuales pueden ser almacenados en la memoria del GPS utilizado por el departamento de topografía, para posteriormente ser ubicados en campo por el personal de este departamento, la metodología utilizada actualmente por el departamento de producción consiste en el marcado del patrón de perforación empleando cinta métrica o a paso, a cargo de los operadores de las perforadoras, es decir, una vez que un frente de voladura esta limpio y situado, el operador se baja del equipo y procede a ubicar en el terreno os barrenos a perforar, esto produce un tiempo de demora que se registra en el reporte diario de perforación.

En la siguiente tabla se hace referencia al porcentaje que representa el tiempo de marcado de patrón de perforación con respecto al tiempo total.

| Mes | Tiempo Demora por Marcado de Patrón de Perforación (hr) | |
|--|---|--------------|
| | 2000 | 2001 |
| Enero | 0.33 | 0.58 |
| Febrero | 0.42 | 0.50 |
| Marzo | 0.42 | 0.46 |
| Abril | 0.44 | 0.64 |
| Mayo | 0.43 | 0.50 |
| Junio | 0.41 | |
| Julio | 0.33 | |
| Agosto | 0.27 | |
| Septiembre | 0.42 | |
| Octubre | 0.63 | |
| Noviembre | 0.36 | |
| Diciembre | 0.49 | |
| Promedio Total = | | 0.45 |
| % Representativo del Tiempo Total = | | 1.87% |

Tabla 5.45. Promedio diario del Tiempo de Demora por Marcado de Patrón de Perforación.

Sí este valor de 1.87% ilustrado en la tabla 5.45 es eliminado del tiempo de demora total, se producirá un aumento de aproximadamente 0.45 horas en el tiempo de producción. Si se analiza la formula de productividad se observa que los metros lineales perforados son directamente

proporcionales al tiempo de producción, es decir, si se aumenta el tiempo de producción esto produce un aumento en los metros lineales perforados.

5.5.2. Disponibilidad Física y Mecánica.

El segundo punto de evaluación son las disponibilidades físicas y mecánicas obtenidas en los equipos de perforación utilizados en las voladuras planificadas con el software y compararlas con los estándares utilizados por el departamento de producción o datos de control.

De igual manera que se realizara para la productividad de los equipos de perforación, se realizó un estudio estadístico para la disponibilidad física y mecánica. Estos cálculos estadísticos se reflejan en la tabla 5.46.

| | Promedio | Mínimo | Máximo | Desviación Estándar | R/2 |
|---|----------|--------|--------|---------------------|--------|
| D. Física en Voladuras No Planificadas | 76.16% | 73.03% | 79.29% | 13.1660 | 3.1294 |
| D. Física en Voladuras Planificadas | 83.37% | 76.82% | 89.93% | 19.4914 | 6.5518 |
| D. Mecánica en Voladuras No Planificadas | 65.89% | 62.64% | 69.15% | 13.7075 | 3.2581 |
| D. Mecánica en Voladuras Planificadas | 78.69% | 70.67% | 86.71% | 23.8649 | 8.0219 |

Tabla 5.46. Intervalos de Confianza de las Disponibilidades Físicas y Mecánicas de las Perforadoras.

El aumento tanto de la disponibilidad física como de la disponibilidad mecánica obtenido en la tabla 5.30 y 5.31 respectivamente con respecto a los datos de control mostrados en la tabla 5.2 y 5.3, sí se debe a la implementación del software Drill & Blast en la planificación de las voladuras, demostrado por el estudio de análisis de varianza (mostrado en los anexos) que determinó, que SI existe una diferencia estadísticamente sensible en los

tratamientos, es decir, los valores son representativos y no son producto del azar.

Aunque el estudio de análisis de varianza determina que el aumento en la disponibilidad física es debido a la implantación del software, al analizar la formula de disponibilidad física mostrada en el capítulo III se observa que al eliminar el tiempo de demora generado por la marcación del patrón de perforación no afecta el resultado de disponibilidad física de los equipos de perforación, es decir, al eliminar el tiempo de marcación de patrón se reduce el tiempo de demora total pero a su vez esta perdida se toma como ganancia en el tiempo de producción del equipo, lo cual no modifica el resultado de disponibilidad física por que al sumar estos valores de tiempo se obtendrá el mismo resultado.

En cambio el aumento que se genera en la disponibilidad mecánica si se puede demostrar por la formula mostrada en el capítulo III, al analizar dicha formula se puede observar que consiste en una relación entre el tiempo de producción y la suma del tiempo de reparación con el tiempo de producción. Si se toma en cuenta el aumento que se produce en el tiempo de producción debido a la planificación de las voladuras con el software Drill & Blast se produce un incremento del 1.55% en los valores de disponibilidad mecánica de los equipos de perforación. Para demostrar el incremento que se genera en la disponibilidad mecánica es necesario establecer el valor de disponibilidad mecánica diaria utilizado por el departamento de producción el cual se acota en la tabla 5.3 (capítulo III) y es igual a 65.89%, una vez establecido este valor se determina los componentes que conforman a la disponibilidad mecánica como el tiempo de producción y el tiempo de reparación.

El numerador de la formula de disponibilidad mecánica es igual al tiempo de producción el cual se puede establecer con un valor hipotético de 0.6589, de igual manera se establece un valor de uno (1) para el denominador representado por la suma del tiempo de producción y el tiempo

de reparación, esto nos permite conocer el valor del tiempo de reparación igual a 0.3411. Como el tiempo total es la suma de los tiempos de producción, reparación y demora, es necesario determinar el tiempo de demora sin perder la relación tomada para determinar los tiempos de producción y reparación. Para determinar el valor del tiempo de demora es necesario utilizar la fórmula de utilización de la disponibilidad física la cual hace uso del tiempo de producción y el tiempo de demora. Dicha fórmula se basa en una relación entre el tiempo de producción y la suma de los tiempos de demora y de producción. Como se establece en la tabla 5.4 el valor de la utilización de la disponibilidad física diaria es igual a 50.88%, si se despeja el valor del tiempo de demora de dicha fórmula utilizando el valor del tiempo de producción de 0.6589, el tiempo de demora es igual a 0.6417.

El tiempo total se determina introduciendo los valores de los tiempos de producción (0.6589), reparación (0.3411) y demora (0.6417) lo cual nos deja un valor para el tiempo total igual a 1.6417. La disminución del tiempo de demora lograda por la eliminación del tiempo de marcación del patrón de perforación esta relacionada por un porcentaje que él representa del tiempo total mostrado en la tabla 5.45 (1.87%), si se aplica este porcentaje al tiempo total determinado de 1.6417 nos da un valor de 0.0307, dicho valor representa la disminución del tiempo de demora lograda por la planificación de las voladuras con el software Drill & Blast. Si este valor de 0.0307 es aplicado en la fórmula de disponibilidad mecánica se puede demostrar el incremento de 1.55% en la disponibilidad mecánica de los equipos de perforación.

5.5.3. Utilización de la Disponibilidad Física.

El cuarto punto de evaluación es la utilización de la disponibilidad física obtenida en los equipos de perforación utilizados en las voladuras

planificadas con el software y compararlas con los estándares utilizados por el departamento de producción.

De igual manera que se realizara para la productividad de los equipos de perforación, se realizó un estudio estadístico para la utilización de la disponibilidad física. Estos cálculos estadísticos se reflejan en la tabla 5.47.

| | Promedio | Mínimo | Máximo | Desviación Estándar | R/2 |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------------|---------------|
| U. De la D. Física en Voladuras No Planificadas | 50.66% | 48.00% | 53.31% | 11.1583 | 2.6521 |
| U. De la D. Física en Voladuras Planificadas | 65.67% | 60.06% | 71.28% | 16.6870 | 5.6091 |

Tabla 5.47. Intervalos de Confianza de la Utilización de la Disponibilidad Física de las Perforadoras.

El aumento de la utilización de la disponibilidad física obtenido en la tabla 5.37 con respecto a los datos de control mostrados en la tabla 5.4, sí se debe a la implementación del software Drill & Blast en la planificación de las voladuras, demostrado por el estudio de análisis de varianza (mostrado en los anexos) que determinó, que Sí existe una diferencia estadísticamente sensible en los tratamientos, es decir, los valores son representativos y no son producto del azar.

Al analizar la fórmula de utilización de la disponibilidad física se encuentran dos valores importantes en dicha fórmula los cuales son el tiempo de producción y el tiempo de demora. La fórmula consiste en una relación entre el tiempo de producción y la suma de los tiempos de demora y producción, si se utiliza el mismo criterio de análisis empleado para la disponibilidad mecánica se obtendrá que con el incremento de tiempo de producción se genera un incremento en el valor promedio (50.66%) de utilización de la disponibilidad física (utilizado por el departamento de producción) de 4.66%.

5.5.4. Precisión y Eficiencia de la Perforación.

El quinto punto de evaluación es la precisión de las ubicaciones de las perforaciones, este punto es de gran importancia dado que de un buen patrón de perforación se puede obtener un resultado óptimo en la fragmentación de la roca, debido a que la distribución de la energía del explosivo se realiza de forma homogénea y así interactúa entre las grietas de tracción producidas durante la detonación.

De igual manera que realizara para la productividad de los equipos de perforación, se realizó un estudio estadístico para la ubicación de las perforaciones. Estos cálculos estadísticos se reflejan en la tabla 5.48.

| | Promedio | Mínimo | Máximo | Desviación Estándar | R/2 |
|--|----------|--------|--------|---------------------|--------|
| Diferencia de Distancia en Voladuras No Planificadas | 1.43 | 1.40 | 1.47 | 0.5310 | 0.0349 |
| Diferencia de Distancia en Voladuras Planificadas | 0.21 | 0.20 | 0.22 | 0.0841 | 0.0075 |

Tabla 5.48. Intervalos de Confianza de Ubicación de las Perforaciones.

La disminución notable de la diferencia de las distancias de coordenadas de las voladuras planificadas de coordenadas con el software con respecto a la diferencia de coordenadas de las voladuras no planificadas con el software, demostrado por el estudio de análisis de varianza (mostrado en los anexos) que determinó, que Sí existe una diferencia estadísticamente sensible en los tratamientos, es decir, los valores son representativos y no son producto del azar.

Todos los valores estadísticos obtenidos de medidas de dispersión y medidas de tendencia central en las voladuras planificadas con el software

están muy por debajo de los valores obtenidos en las voladuras no planificadas con el software, si se observa la grafica de frecuencia en la figura 5.1 se percibe con claridad la mejora en la ubicación de las perforaciones utilizando GPS. Con un 95% de confianza se puede asegurar que las diferencia de las distancias (coordenadas reales– planificadas), utilizando GPS tienen un valor de 0.21 metros, sin la utilización de GPS tiene un valor de 1.43 metros.

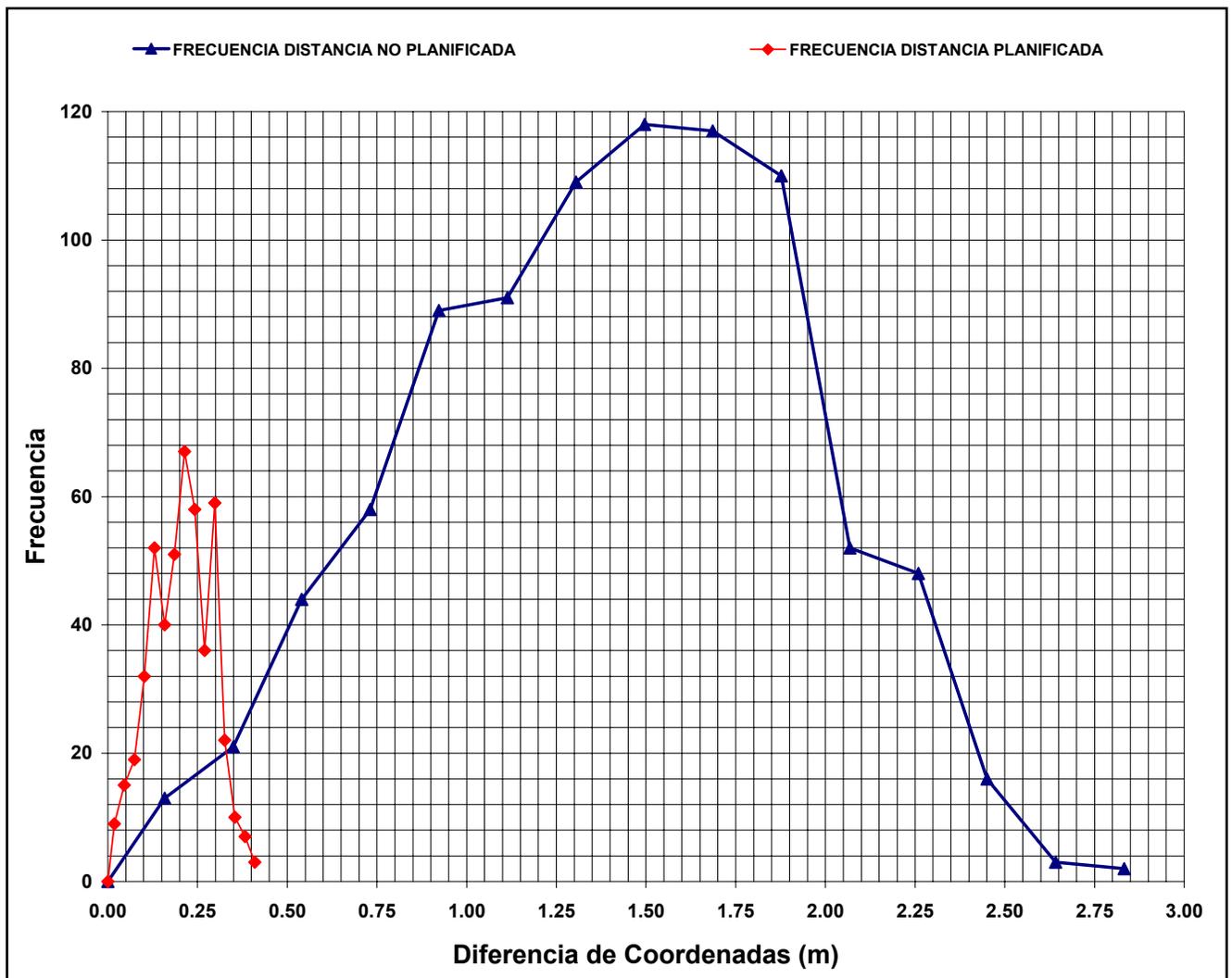


Figura 5.2. Grafico de Frecuencia de la Diferencia de las Distancias.

5.5.5. Evaluación de la calidad de las voladuras Planificadas con el software.

Según los reportes del departamento de producción, la fragmentación de la roca en todas las voladuras planificadas con el software fue muy buena y no se produjo problema con los equipos de carga en cuanto a su productividad. Cabe destacar que los datos de productividad de las palas son datos exclusivos de la gerencia de la mina, por lo cual dichos datos no fueron suministrados. Además de la buena fragmentación de la roca, no se presentó problemas con los pisos de pala, en cuanto a mala fragmentación. El carbón reportado por la base geológica sumo un total de 101,293.4 toneladas (incluye todas las voladuras) y según los reportes de Dispatch se recuperaron un total de 96,502.71 toneladas. Este total de carbón recuperado representa un 95.27% del total planificado, y supera el valor de recuperación del carbón establecido por el departamento de control de calidad (90% promedio). Este valor de recuperación indica que las cargas de explosivos se colocaron perfectamente y que la protección del mando de carbón cumplió a cabalidad su función. Además este valor de recuperación representa que existió poca contaminación del carbón con materia de estéril.

Esta mejora hipotética en la recuperación del carbón es debido a que el software permite ubicar las coordenadas y cotas reales de los barrenos, lo que permite establecer la distancia que existe desde el tope de la superficie hasta las zonas de intersección del manto de carbón (techo y piso). Conociendo esta distancia se puede establecer la distancia de protección desde el manto de carbón hasta el explosivo con gran precisión y exactitud.

Los problemas presentados en todas las voladuras están referidos al material utilizado como taco, debido a su mezcla con el agua de los barrenos forma una especie de pasta y no confina bien los explosivos, produciendo el soplo de algunos barrenos.

Dicho problema tendría solución realizando un estudio con materiales de diferentes diámetros para el taco, como por ejemplo, piedra picada.

5.5.6. Ventajas y Desventajas del Software Drill & Blast.

La planificación de las voladuras con el software Drill & Blast permite las siguientes ventajas:

- Sencilla generación del patrón de perforación.
- Generación de tablas de coordenadas Geográficas (UTM).
- Exportación e importación de datos con software, tales como, Dispatch, Excel, Autocad, Software de Topografía, etc.
- Modelados de los mantos de carbón real, mediante la generación de tablas de distancias de profundidades.
- Actualización de coordenadas de ubicación y cotas de los barrenos perforados mediante la importación de tablas.
- Ubicación de las superficies de intersección dentro de los barrenos, tales como, mantos de carbón, taco, etc.
- Se puede establecer la distancia de protección del carbón al explosivo, con mucha precisión.
- Las densidades de los materiales explosivos (Anfo, Super-Anfo, emulsiones, etc) y materiales no explosivos (taco, bolsas de aire, gas-bag, paraplug, etc) puede ser modificados e incluso introducidos.
- Generación de tabla de carga de explosivo por barrenos, en distancia y kilogramos de explosivos.
- Generación de los amarres de superficie por barrenos y por líneas, empleando retardadores de superficie y de fondo, cualesquiera sea su tiempo de retardo.
- Determinación de tiempo de detonación.

- Importación y Exportación directa con software de datos reales como Dispatch y Aquila.
- Se puede llevar un inventario de las voladuras realizadas y por realizar, además de poder separar las voladuras por bloques y por nivel de ubicación dentro de la mina.

La planificación de las voladuras con el software Drill & Blast presenta las siguientes desventajas:

- El manejo del software amerita de un entrenamiento previo y su uso no es muy sencillo.
- El software ocupa mucha capacidad de memoria en el disco duro del computador, además se requiere de un procesador superior a Pentium III, con tarjetas de video de tres dimensiones (recomendado).
- Las fallas locales presentes en la mina deforman los mantos modelados por el software.
- Todos los matos de carbón deben ser modelados con los datos reales del campo, debido a que la base geología del software presenta muchos inconvenientes.
- Las tablas de cargas de explosivos son de difícil generación y merecen de una programación avanzada.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

La implantación del software Drill & Blast en las operaciones de perforación y voladura de la mina Paso Diablo generó las siguientes conclusiones:

- Con respecto al rendimiento de los equipos de perforación:
 - El tiempo de demora por marcación de patrón de perforación, es eliminado de los parámetros que forman el tiempo de demora de los equipos de perforación de la mina Paso Diablo.
 - El promedio de tiempo de producción diario se incrementa 0.45 horas, generado por la eliminación del tiempo de demora por marcación del patrón de perforación.
 - El promedio de productividad diario de los equipos de perforación no sufre ningún cambio.
 - El incremento del tiempo de producción de los equipos de perforación produciría un incremento en los metros lineales a perforar.
 - El valor promedio de disponibilidad física diaria de los equipos de perforación no sufre ningún cambio.
 - El valor promedio de disponibilidad mecánica diaria de los equipos de perforación se incrementa un 1.55%
 - El valor promedio de la utilización de la disponibilidad física diaria de los equipos de perforación se incrementa un 4.66%.
- Con respecto a la precisión y eficiencia de la ubicación de las perforaciones:
 - Se reducen, las diferencias de las distancias de las coordenadas de ubicación real de las perforaciones menos las coordenadas de ubicación planificada de las perforaciones, de 1.43 metros en promedio a 0.21 metros en promedio.

- El rango de las diferencias de distancia de ubicación de las perforaciones tiene un mínimo de .020 metros y un máximo de 0.22 metros, es decir, con un 95% de confianza es muy probable que se encuentre el valor de las diferencias de la distancia utilizando el sistema de ubicación por GPS (el uso del software implica el uso de GPS).
- Con respecto a la calidad de las voladuras planificadas con el software Drill & Blast:
 - Buena fragmentación de la roca volada, en todas las voladuras planificadas con el software.
 - No se presentaron problemas en el piso de la pala.
 - Los equipos de carga no presentaron problemas con la fragmentación de la roca (según reportes del departamento de producción).
 - Se recuperó 95.27% del carbón total planificado.
- Con respecto a la planificación de las voladuras y el uso del software:
 - Sencilla generación del patrón de perforación.
 - Generación de Tablas de Coordenadas Geográficas (UTM).
 - Exportación e importación de datos con software, tales como, Dispatch, Excel, Autocad, Software de Topografía, etc.
 - Modelados de los mantos de carbón real, mediante la generación de tablas de distancias de profundidades.
 - El método más eficiente de ubicación de los mantos de carbón para modelar los mismos, es el sondeo geofísico, de la mano con los reportes del perforador. El Stratalogger en la mayoría de los casos, no se asemeja ni a los reportes del perforador ni a los sondeos geofísicos.
 - Actualización de las coordenadas de ubicación y cotas de los barrenos perforados mediante la importación de tablas.

- Ubicación de las superficies de intersección dentro de los barrenos, tales como, mantos de carbón, taco, etc.
- Se puede establecer la distancia de protección del carbón al explosivo, con mucha exactitud.
- Las densidades de los materiales explosivos (Anfo, Super-Anfo, emulsiones, etc) y materiales no explosivos (taco, bolsas de aire, gas bag, paraplug, etc) puede ser modificados e incluso introducidos.
- Generación de tablas de carga de explosivo por barreno, en distancia y kilogramos de explosivos.
- Generación de los amarres de superficie por barrenos y por líneas, empleando retardadores de superficie y de fondo, cualesquiera sea su tiempo de retardo.
- Determinación del tiempo de detonación.
- Importación y exportación directa con software de datos reales como Dispatch y Aquila.
- Se puede llevar un inventario de las voladuras realizadas y por realizar, además de poder separar las voladuras por bloques y por nivel de ubicación dentro de la mina.
- El manejo del software amerita de un entrenamiento previo y su uso no es muy sencillo.
- El software ocupa mucha capacidad de memoria en el disco duro del computador, además se requiere de un procesador superior a Pentium III, con tarjeta de video de tres dimensiones (recomendado).
- Las fallas locales presentes en la mina deforman los mantos modelados por el software.
- Todos los mantos de carbón deben ser modelados con los datos reales del campo, debido a que la base geología del software presenta muchos inconvenientes.

- Las tablas de cargas de explosivos son de difícil generación y merecen de una programación avanzada.

6.2. RECOMENDACIONES

La implantación del software Drill & Blast en las operaciones de perforación y voladura de la mina Paso Diablo generó las siguientes recomendaciones:

- Implantar el software en la planificación de las voladuras bajo manto y convencional.
- Ejecutar los levantamientos del patrón de perforación planificado por medio del sistema de posicionamiento global (GPS).
- Replantar todos los barrenos perforados utilizando el sistema de posicionamiento global (GPS).
- Modelar los mantos de carbón relacionados a la voladura a planificar, utilizando la ubicación de los mantos de carbón por sondeo geofísico conjuntamente con los reportes de los operadores de las perforadoras.
- Realizar un estudio estadístico del efecto directo del uso del software sobre la productividad de los equipos de perforación, con una población superior a la utilizada en el presente estudio, se recomienda una población superior a los ciento cincuenta (150) datos.
- Ejecutar un estudio estadístico del efecto directo del uso del software sobre la productividad de los equipos de carga, con una población superior a los ciento cincuenta (150) datos.
- Un estudio de granulometría del taco utilizado en las voladuras.
- Un estudio económico de implantación de un software de transferencia de datos de alta precisión de perforación a los equipos de perforación, como por ejemplo, Aquila, Dispatch, etc.

BIBLIOGRAFÍA

1. Libros:

Chironis, N.(1989). Improving blasting improve efficiency. USA.

Dupont (1977). Blasters' Handbook.(S:E). Delaware.1era Edición. USA.

Freund John & Walpole Ronald. (1974) Estadística Matemática con Aplicaciones, editorial Prentice-Hall Hispanoamericana. 4ta Ed. DF, México.

González de Juana C, Iturralde J. & Picardo X. (1989). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Venezuela: Caracas.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1990). Manual de perforación y voladura de rocas. España: Madrid.

International Society of Explosive Engineers. (1998) Blasters' Handbook. 17 ma. Edición. Cleveland, Ohio. USA.

Konya, C. (S:F) Drilling accuracy: the key to successful blasting. USA.

Langefors, U Y Kihlstrom, B. (1973). Técnica Moderna de voladura de rocas. Edición Urmo. Bilbao. 1era Edición.

Osers, H. (1991). Estudio de geometría descriptiva. Venezuela: Caracas.

Parasnis, F (1964). Métodos de Prospección geofísica. Ediciones Unidas. Barcelona – España.

Sin Autor: Léxico Estratigráfico de Venezuela: segunda Edición, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, República de Venezuela, Dirección de Geología, Caracas.

Tamrock (1988). Surface Drilling and Blasting. USA.

Ucar, R. (1979). Importancia de retiro en el diseño de voladuras parámetros a considerar. Venezuela.

2. Documentos y Reportes técnicos:

Arnaudez, O. (1997). Taller de perforación para supervisores de Carbones del Guasare S.A.

Gerencia de producción. Departamento de control de producción. Taller Introductorio del Dispatch para supervisores.

Mincom (1994). How to use Drill & Blast. USA: Mincom.

Moreno, A (1997). Taller de servicio de Mina de Carbones del Guasare S.A.

Moxon, D; Danell, R Y Richardson, S (1993). Air- decks improving production blasting. Coal. USA.

Revistas Técnicas: Mining engineering. SME USA.

Servicio integral de cursos de ingeniería (1992). Diseño de voladuras en la ejecución de obras civiles y mineras. Maracaibo: Ucar, R.

Thunderbird (1996). Stratalogger for Windows, USA: Mining Systems.

3. Tesis de Grado:

Galindo Rosanela (1999). Factibilidad de implementación de un nuevo método de voladura en carbones del Guasare S.A., mina paso Diablo, Sector Baqueta, Distrito Mara, Estado Zulia. Tesis de Grado Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Nieves, Y (1988). Plan de explotación de la mina de carbón paso diablo norte, Guasare, estado Zulia. Tesis de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

4. URLs:

www.stemlock.com Gas Bag, tipos, funciones y aplicaciones.

ANEXOS

ANEXOS I. ESTADÍSTICA GENERAL

- Anexo I-A. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras No Planificadas con el Software.
- Anexo I-A. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras No Planificadas con el Software (Continuación).
- Anexo I-A. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras No Planificadas con el Software (Continuación).
- Anexo I-A. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras No Planificadas con el Software (Continuación).
- Anexo I-B. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras Planificadas con el Software.
- Anexo I-B. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras Planificadas con el Software (Continuación).
- Anexo I-C. Frecuencia de Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras No Planificadas con el Software.
- Anexo I-D. Frecuencia de Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras Planificadas con el Software.

ANEXOS II. ANÁLISIS DE VARIANZA

ANEXOS III. VOLADURAS PLANIFICADAS CON EL SOFTWARE DRILL & BLAST

- Anexo III-A. Barrenos Voladura #229.
- Anexo III-B. Amarre Voladura #229.
- Anexo III-C. Sección de Barreno Tipo de Voladura #229.
- Anexo III-D. Reporte del Departamento de Producción de Voladura #229.
- Anexo III-E. Barrenos Voladura #237.
- Anexo III-F. Amarre Voladura #237.

- Anexo III-G. Sección de Barreno Tipo de Voladura #237.
- Anexo III-H. Reporte del Departamento de Producción de Voladura #237.
- Anexo III-I. Barrenos Voladura #245.
- Anexo III-J. Amarre Voladura #245.
- Anexo III-K. Sección de Barreno Tipo de Voladura #245.
- Anexo III-L. Reporte del Departamento de Producción de Voladura #245.
- Anexo III-M. Barrenos Voladura #280.
- Anexo III-N. Amarre Voladura #280.
- Anexo III-O. Sección de Barreno Tipo de Voladura #280.
- Anexo III-P. Reporte del Departamento de Producción de Voladura #280.
- Anexo III-Q. Barrenos Voladura #313.
- Anexo III-R. Sección Transversal de Voladura #313.
- Anexo III-S. Sección de Barreno Tipo de Voladura #313.
- Anexo III-T. Reporte del Departamento de Producción de Voladura #313.

ANEXOS IV. RESULTADOS VOLADURAS PLANIFICADAS CON EL SOFTWARE DRILL & BLAST

- Anexo IV-A. Fragmentación Voladura #229.
- Anexo IV-B. Fragmentación Voladura #237.
- Anexo IV-C. Secuencia y Fragmentación de Voladura #245.
- Anexo IV-D. Fragmentación Voladura #280.

ANEXOS I. ESTADÍSTICA GENERAL

Intervalos de Frecuencia = 15

\bar{X} = Media Aritmética

y_i = Marcas de Clase

f_i = Frecuencia

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \times f_i}{n}$$

Moda = Marca de Clase con mayor Frecuencia

\tilde{X} = Mediana

Li = Limite Inferior Real de la Clase Mediana (50% de los datos)

ΔLi = Diferencia entre limites inferiores sucesivos de la Clase Mediana

N = Número de Datos de la Muestra

f_i = Frecuencia de Clase Mediana

fa_{i-1} = Sumatoria de las Frecuencias anteriores a la Clase Mediana.

$$\tilde{X} = Li + \Delta Li \times \left(\frac{\frac{N}{2} - \sum_{i=1}^n fa_{i-1}}{f_i} \right)$$

MD = Desviación Media

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n f_i |y_i - \bar{X}|}{N}$$

S = Desviación Estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (y_i - \bar{X})^2}{N}}$$

V = Varianza

$$V = S^2$$

| DISTANCIA (m) |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.0635 | 0.5342 | 0.7109 | 0.8745 | 0.9890 |
| 0.0946 | 0.5345 | 0.7120 | 0.8768 | 0.9903 |
| 0.1470 | 0.5388 | 0.7207 | 0.8790 | 0.9919 |
| 0.1625 | 0.5405 | 0.7302 | 0.8799 | 0.9923 |
| 0.1625 | 0.5422 | 0.7354 | 0.8804 | 0.9929 |
| 0.1686 | 0.5526 | 0.7362 | 0.8809 | 0.9951 |
| 0.1744 | 0.5586 | 0.7406 | 0.8822 | 0.9959 |
| 0.2065 | 0.5649 | 0.7458 | 0.8827 | 0.9982 |
| 0.2104 | 0.5658 | 0.7535 | 0.8837 | 0.9997 |
| 0.2272 | 0.5723 | 0.7539 | 0.8851 | 1.0000 |
| 0.2315 | 0.5726 | 0.7574 | 0.8887 | 1.0012 |
| 0.2430 | 0.5747 | 0.7606 | 0.8892 | 1.0015 |
| 0.2457 | 0.5778 | 0.7617 | 0.8901 | 1.0017 |
| 0.2544 | 0.5809 | 0.7633 | 0.8911 | 1.0020 |
| 0.2625 | 0.5828 | 0.7656 | 0.8915 | 1.0025 |
| 0.2633 | 0.5842 | 0.7680 | 0.8926 | 1.0033 |
| 0.2652 | 0.5845 | 0.7733 | 0.8933 | 1.0036 |
| 0.2763 | 0.5895 | 0.7756 | 0.8984 | 1.0074 |
| 0.3233 | 0.5990 | 0.7767 | 0.8992 | 1.0083 |
| 0.3418 | 0.5999 | 0.7798 | 0.9004 | 1.0172 |
| 0.3441 | 0.6028 | 0.7818 | 0.9024 | 1.0174 |
| 0.3448 | 0.6133 | 0.7821 | 0.9032 | 1.0182 |
| 0.3493 | 0.6146 | 0.7845 | 0.9098 | 1.0201 |
| 0.3520 | 0.6195 | 0.7912 | 0.9110 | 1.0222 |
| 0.3590 | 0.6266 | 0.7938 | 0.9159 | 1.0280 |
| 0.3850 | 0.6266 | 0.7979 | 0.9214 | 1.0284 |
| 0.3881 | 0.6292 | 0.8043 | 0.9215 | 1.0336 |
| 0.3971 | 0.6389 | 0.8067 | 0.9235 | 1.0365 |
| 0.4036 | 0.6409 | 0.8086 | 0.9250 | 1.0373 |
| 0.4036 | 0.6430 | 0.8136 | 0.9264 | 1.0377 |
| 0.4092 | 0.6466 | 0.8209 | 0.9282 | 1.0400 |
| 0.4163 | 0.6531 | 0.8234 | 0.9286 | 1.0407 |
| 0.4382 | 0.6615 | 0.8252 | 0.9390 | 1.0407 |
| 0.4383 | 0.6627 | 0.8264 | 0.9433 | 1.0411 |
| 0.4490 | 0.6650 | 0.8310 | 0.9468 | 1.0418 |
| 0.4534 | 0.6692 | 0.8356 | 0.9480 | 1.0502 |
| 0.4742 | 0.6731 | 0.8386 | 0.9519 | 1.0506 |
| 0.4756 | 0.6768 | 0.8396 | 0.9541 | 1.0507 |
| 0.4818 | 0.6821 | 0.8411 | 0.9567 | 1.0517 |
| 0.4964 | 0.6833 | 0.8437 | 0.9577 | 1.0528 |
| 0.5037 | 0.6846 | 0.8460 | 0.9596 | 1.0555 |
| 0.5135 | 0.6876 | 0.8481 | 0.9606 | 1.0620 |
| 0.5138 | 0.6902 | 0.8530 | 0.9628 | 1.0668 |
| 0.5140 | 0.6941 | 0.8575 | 0.9649 | 1.0672 |
| 0.5191 | 0.6953 | 0.8585 | 0.9669 | 1.0690 |
| 0.5220 | 0.6954 | 0.8604 | 0.9671 | 1.0706 |
| 0.5225 | 0.6981 | 0.8615 | 0.9718 | 1.0750 |
| 0.5240 | 0.7068 | 0.8616 | 0.9750 | 1.0778 |
| 0.5291 | 0.7074 | 0.8621 | 0.9782 | 1.0795 |
| 0.5326 | 0.7077 | 0.8643 | 0.9827 | 1.0813 |
| 0.5328 | 0.7102 | 0.8666 | 0.9827 | 1.0825 |

Anexo I-A. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras No Planificadas con el Software.

| DISTANCIA (m) |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1.0827 | 1.1857 | 1.2819 | 1.3692 | 1.4637 |
| 1.0844 | 1.1883 | 1.2822 | 1.3704 | 1.4641 |
| 1.0891 | 1.1886 | 1.2829 | 1.3735 | 1.4672 |
| 1.0914 | 1.1972 | 1.2860 | 1.3744 | 1.4739 |
| 1.0934 | 1.1972 | 1.2877 | 1.3751 | 1.4742 |
| 1.0961 | 1.1974 | 1.2879 | 1.3753 | 1.4745 |
| 1.0971 | 1.2019 | 1.2884 | 1.3764 | 1.4782 |
| 1.0983 | 1.2045 | 1.2887 | 1.3780 | 1.4816 |
| 1.0987 | 1.2053 | 1.2887 | 1.3797 | 1.4823 |
| 1.1042 | 1.2084 | 1.2891 | 1.3805 | 1.4855 |
| 1.1069 | 1.2092 | 1.2893 | 1.3810 | 1.4877 |
| 1.1117 | 1.2093 | 1.2900 | 1.3831 | 1.4901 |
| 1.1119 | 1.2095 | 1.2909 | 1.3844 | 1.4924 |
| 1.1131 | 1.2108 | 1.2911 | 1.3873 | 1.4950 |
| 1.1143 | 1.2123 | 1.2937 | 1.3938 | 1.4953 |
| 1.1158 | 1.2145 | 1.2985 | 1.3952 | 1.4982 |
| 1.1164 | 1.2148 | 1.2985 | 1.3956 | 1.4991 |
| 1.1227 | 1.2180 | 1.3010 | 1.4002 | 1.4991 |
| 1.1254 | 1.2191 | 1.3046 | 1.4022 | 1.5000 |
| 1.1265 | 1.2192 | 1.3056 | 1.4026 | 1.5020 |
| 1.1266 | 1.2240 | 1.3062 | 1.4037 | 1.5030 |
| 1.1289 | 1.2257 | 1.3081 | 1.4122 | 1.5046 |
| 1.1299 | 1.2285 | 1.3096 | 1.4125 | 1.5067 |
| 1.1360 | 1.2306 | 1.3113 | 1.4147 | 1.5070 |
| 1.1361 | 1.2329 | 1.3133 | 1.4157 | 1.5070 |
| 1.1376 | 1.2382 | 1.3188 | 1.4205 | 1.5091 |
| 1.1395 | 1.2389 | 1.3198 | 1.4215 | 1.5095 |
| 1.1401 | 1.2406 | 1.3260 | 1.4230 | 1.5116 |
| 1.1415 | 1.2408 | 1.3264 | 1.4244 | 1.5118 |
| 1.1437 | 1.2414 | 1.3265 | 1.4303 | 1.5131 |
| 1.1465 | 1.2476 | 1.3329 | 1.4308 | 1.5138 |
| 1.1521 | 1.2493 | 1.3336 | 1.4344 | 1.5151 |
| 1.1539 | 1.2500 | 1.3341 | 1.4349 | 1.5189 |
| 1.1544 | 1.2536 | 1.3342 | 1.4364 | 1.5189 |
| 1.1569 | 1.2545 | 1.3354 | 1.4367 | 1.5193 |
| 1.1577 | 1.2566 | 1.3416 | 1.4384 | 1.5198 |
| 1.1602 | 1.2611 | 1.3442 | 1.4386 | 1.5199 |
| 1.1610 | 1.2628 | 1.3449 | 1.4403 | 1.5199 |
| 1.1619 | 1.2674 | 1.3468 | 1.4496 | 1.5214 |
| 1.1621 | 1.2680 | 1.3488 | 1.4512 | 1.5227 |
| 1.1627 | 1.2737 | 1.3505 | 1.4515 | 1.5243 |
| 1.1628 | 1.2745 | 1.3534 | 1.4517 | 1.5252 |
| 1.1630 | 1.2753 | 1.3537 | 1.4532 | 1.5255 |
| 1.1668 | 1.2761 | 1.3539 | 1.4552 | 1.5264 |
| 1.1674 | 1.2766 | 1.3572 | 1.4562 | 1.5279 |
| 1.1681 | 1.2769 | 1.3586 | 1.4568 | 1.5297 |
| 1.1736 | 1.2780 | 1.3596 | 1.4581 | 1.5300 |
| 1.1745 | 1.2784 | 1.3600 | 1.4582 | 1.5302 |
| 1.1770 | 1.2806 | 1.3672 | 1.4584 | 1.5327 |
| 1.1818 | 1.2815 | 1.3681 | 1.4624 | 1.5332 |
| 1.1837 | 1.2816 | 1.3685 | 1.4626 | 1.5342 |

Anexo I-A. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras No Planificadas con el Software (Continuación).

| DISTANCIA (m) |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1.5352 | 1.6152 | 1.7016 | 1.7897 | 1.8787 |
| 1.5358 | 1.6202 | 1.7028 | 1.7902 | 1.8792 |
| 1.5369 | 1.6209 | 1.7043 | 1.7908 | 1.8807 |
| 1.5401 | 1.6228 | 1.7044 | 1.7918 | 1.8815 |
| 1.5402 | 1.6236 | 1.7052 | 1.7941 | 1.8845 |
| 1.5418 | 1.6257 | 1.7054 | 1.7941 | 1.8848 |
| 1.5478 | 1.6279 | 1.7062 | 1.7944 | 1.8859 |
| 1.5507 | 1.6280 | 1.7063 | 1.7961 | 1.8870 |
| 1.5534 | 1.6323 | 1.7070 | 1.7962 | 1.8898 |
| 1.5592 | 1.6340 | 1.7083 | 1.8022 | 1.8904 |
| 1.5622 | 1.6350 | 1.7101 | 1.8031 | 1.8947 |
| 1.5625 | 1.6413 | 1.7130 | 1.8094 | 1.8987 |
| 1.5653 | 1.6445 | 1.7140 | 1.8098 | 1.8996 |
| 1.5654 | 1.6449 | 1.7166 | 1.8106 | 1.9011 |
| 1.5663 | 1.6455 | 1.7169 | 1.8112 | 1.9054 |
| 1.5687 | 1.6456 | 1.7209 | 1.8128 | 1.9056 |
| 1.5739 | 1.6469 | 1.7233 | 1.8202 | 1.9057 |
| 1.5744 | 1.6503 | 1.7258 | 1.8203 | 1.9087 |
| 1.5762 | 1.6521 | 1.7283 | 1.8223 | 1.9095 |
| 1.5778 | 1.6527 | 1.7312 | 1.8232 | 1.9095 |
| 1.5791 | 1.6547 | 1.7313 | 1.8262 | 1.9111 |
| 1.5794 | 1.6556 | 1.7320 | 1.8274 | 1.9159 |
| 1.5817 | 1.6580 | 1.7339 | 1.8284 | 1.9159 |
| 1.5821 | 1.6628 | 1.7341 | 1.8317 | 1.9160 |
| 1.5822 | 1.6629 | 1.7396 | 1.8319 | 1.9162 |
| 1.5839 | 1.6633 | 1.7407 | 1.8351 | 1.9208 |
| 1.5863 | 1.6640 | 1.7465 | 1.8369 | 1.9232 |
| 1.5874 | 1.6650 | 1.7469 | 1.8372 | 1.9251 |
| 1.5886 | 1.6659 | 1.7514 | 1.8392 | 1.9255 |
| 1.5888 | 1.6662 | 1.7528 | 1.8398 | 1.9283 |
| 1.5896 | 1.6681 | 1.7577 | 1.8398 | 1.9283 |
| 1.5896 | 1.6713 | 1.7584 | 1.8413 | 1.9325 |
| 1.5896 | 1.6718 | 1.7585 | 1.8428 | 1.9378 |
| 1.5908 | 1.6725 | 1.7588 | 1.8442 | 1.9394 |
| 1.5913 | 1.6732 | 1.7614 | 1.8443 | 1.9423 |
| 1.5931 | 1.6764 | 1.7654 | 1.8481 | 1.9434 |
| 1.5942 | 1.6783 | 1.7690 | 1.8532 | 1.9450 |
| 1.5944 | 1.6784 | 1.7701 | 1.8539 | 1.9466 |
| 1.5958 | 1.6816 | 1.7703 | 1.8552 | 1.9479 |
| 1.5969 | 1.6830 | 1.7708 | 1.8552 | 1.9501 |
| 1.6012 | 1.6836 | 1.7710 | 1.8578 | 1.9517 |
| 1.6018 | 1.6864 | 1.7726 | 1.8611 | 1.9521 |
| 1.6036 | 1.6944 | 1.7744 | 1.8645 | 1.9566 |
| 1.6052 | 1.6965 | 1.7771 | 1.8656 | 1.9573 |
| 1.6057 | 1.6965 | 1.7773 | 1.8704 | 1.9585 |
| 1.6067 | 1.6987 | 1.7788 | 1.8705 | 1.9633 |
| 1.6099 | 1.6991 | 1.7796 | 1.8717 | 1.9633 |
| 1.6122 | 1.6999 | 1.7799 | 1.8740 | 1.9640 |
| 1.6126 | 1.7002 | 1.7835 | 1.8756 | 1.9649 |
| 1.6129 | 1.7007 | 1.7842 | 1.8764 | 1.9655 |
| 1.6131 | 1.7012 | 1.7883 | 1.8781 | 1.9678 |

Anexo I-A. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras No Planificadas con el Software (Continuación).

| DISTANCIA (m) | DISTANCIA (m) | DISTANCIA (m) |
|---------------|---------------|---------------|
| 1.9687 | 2.1222 | 2.3340 |
| 1.9698 | 2.1284 | 2.3421 |
| 1.9706 | 2.1336 | 2.3526 |
| 1.9714 | 2.1537 | 2.3649 |
| 1.9716 | 2.1628 | 2.3718 |
| 1.9745 | 2.1630 | 2.3782 |
| 1.9751 | 2.1675 | 2.3789 |
| 1.9771 | 2.1706 | 2.3848 |
| 1.9774 | 2.1870 | 2.3911 |
| 1.9797 | 2.1901 | 2.4036 |
| 1.9842 | 2.1934 | 2.4396 |
| 1.9848 | 2.1943 | 2.4406 |
| 1.9853 | 2.2064 | 2.4441 |
| 1.9868 | 2.2089 | 2.4596 |
| 1.9919 | 2.2090 | 2.4620 |
| 1.9921 | 2.2102 | 2.4666 |
| 1.9967 | 2.2136 | 2.4753 |
| 1.9989 | 2.2212 | 2.5229 |
| 2.0064 | 2.2217 | 2.5443 |
| 2.0111 | 2.2250 | 2.5630 |
| 2.0117 | 2.2254 | 2.5726 |
| 2.0192 | 2.2259 | 2.6155 |
| 2.0208 | 2.2334 | 2.7393 |
| 2.0242 | 2.2347 | 2.7991 |
| 2.0286 | 2.2381 | |
| 2.0397 | 2.2382 | |
| 2.0421 | 2.2423 | |
| 2.0428 | 2.2463 | |
| 2.0429 | 2.2474 | |
| 2.0440 | 2.2500 | |
| 2.0505 | 2.2510 | |
| 2.0516 | 2.2541 | |
| 2.0517 | 2.2549 | |
| 2.0531 | 2.2588 | |
| 2.0633 | 2.2597 | |
| 2.0634 | 2.2651 | |
| 2.0635 | 2.2725 | |
| 2.0657 | 2.2875 | |
| 2.0683 | 2.2878 | |
| 2.0685 | 2.2963 | |
| 2.0741 | 2.3091 | |
| 2.0779 | 2.3105 | |
| 2.0880 | 2.3169 | |
| 2.0924 | 2.3201 | |
| 2.0940 | 2.3205 | |
| 2.0977 | 2.3213 | |
| 2.0995 | 2.3227 | |
| 2.1041 | 2.3241 | |
| 2.1095 | 2.3302 | |
| 2.1103 | 2.3327 | |
| 2.1143 | 2.3333 | |

Anexo I-A. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras No Planificadas con el Software (Continuación).

| DISTANCIA (m) |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.0044 | 0.0944 | 0.1357 | 0.1631 | 0.1922 |
| 0.0082 | 0.0945 | 0.1359 | 0.1640 | 0.1932 |
| 0.0216 | 0.0945 | 0.1365 | 0.1649 | 0.1935 |
| 0.0225 | 0.0948 | 0.1375 | 0.1659 | 0.1939 |
| 0.0228 | 0.0948 | 0.1378 | 0.1661 | 0.1940 |
| 0.0256 | 0.0977 | 0.1379 | 0.1664 | 0.1943 |
| 0.0267 | 0.0979 | 0.1380 | 0.1666 | 0.1946 |
| 0.0272 | 0.0986 | 0.1382 | 0.1677 | 0.1951 |
| 0.0297 | 0.0988 | 0.1384 | 0.1682 | 0.1957 |
| 0.0329 | 0.1009 | 0.1389 | 0.1686 | 0.1960 |
| 0.0350 | 0.1027 | 0.1392 | 0.1692 | 0.1961 |
| 0.0380 | 0.1045 | 0.1394 | 0.1702 | 0.1969 |
| 0.0391 | 0.1052 | 0.1396 | 0.1706 | 0.1978 |
| 0.0419 | 0.1057 | 0.1398 | 0.1708 | 0.1986 |
| 0.0456 | 0.1081 | 0.1403 | 0.1709 | 0.1991 |
| 0.0472 | 0.1092 | 0.1406 | 0.1724 | 0.1995 |
| 0.0502 | 0.1107 | 0.1411 | 0.1736 | 0.1999 |
| 0.0509 | 0.1112 | 0.1413 | 0.1750 | 0.2001 |
| 0.0511 | 0.1118 | 0.1417 | 0.1755 | 0.2004 |
| 0.0521 | 0.1124 | 0.1421 | 0.1757 | 0.2005 |
| 0.0538 | 0.1124 | 0.1421 | 0.1770 | 0.2006 |
| 0.0544 | 0.1125 | 0.1425 | 0.1772 | 0.2006 |
| 0.0556 | 0.1127 | 0.1427 | 0.1774 | 0.2011 |
| 0.0576 | 0.1137 | 0.1428 | 0.1777 | 0.2011 |
| 0.0600 | 0.1151 | 0.1429 | 0.1778 | 0.2016 |
| 0.0657 | 0.1157 | 0.1430 | 0.1785 | 0.2019 |
| 0.0665 | 0.1158 | 0.1443 | 0.1798 | 0.2023 |
| 0.0671 | 0.1162 | 0.1448 | 0.1803 | 0.2028 |
| 0.0712 | 0.1165 | 0.1449 | 0.1804 | 0.2028 |
| 0.0725 | 0.1182 | 0.1453 | 0.1820 | 0.2032 |
| 0.0740 | 0.1224 | 0.1455 | 0.1821 | 0.2033 |
| 0.0764 | 0.1235 | 0.1458 | 0.1849 | 0.2036 |
| 0.0767 | 0.1240 | 0.1460 | 0.1852 | 0.2038 |
| 0.0779 | 0.1259 | 0.1467 | 0.1854 | 0.2041 |
| 0.0794 | 0.1263 | 0.1481 | 0.1859 | 0.2043 |
| 0.0811 | 0.1271 | 0.1483 | 0.1860 | 0.2045 |
| 0.0816 | 0.1271 | 0.1492 | 0.1862 | 0.2058 |
| 0.0817 | 0.1272 | 0.1503 | 0.1865 | 0.2062 |
| 0.0832 | 0.1272 | 0.1510 | 0.1871 | 0.2065 |
| 0.0847 | 0.1276 | 0.1512 | 0.1878 | 0.2070 |
| 0.0847 | 0.1278 | 0.1514 | 0.1884 | 0.2084 |
| 0.0859 | 0.1281 | 0.1529 | 0.1886 | 0.2089 |
| 0.0862 | 0.1281 | 0.1556 | 0.1894 | 0.2096 |
| 0.0888 | 0.1285 | 0.1566 | 0.1898 | 0.2104 |
| 0.0898 | 0.1319 | 0.1569 | 0.1899 | 0.2105 |
| 0.0900 | 0.1321 | 0.1583 | 0.1903 | 0.2114 |
| 0.0907 | 0.1329 | 0.1600 | 0.1906 | 0.2118 |
| 0.0920 | 0.1331 | 0.1601 | 0.1911 | 0.2124 |
| 0.0931 | 0.1344 | 0.1617 | 0.1911 | 0.2126 |
| 0.0938 | 0.1351 | 0.1626 | 0.1913 | 0.2129 |
| 0.0944 | 0.1352 | 0.1628 | 0.1918 | 0.2132 |

Anexo I-B. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras Planificadas con el Software.

| DISTANCIA (m) |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.2132 | 0.2366 | 0.2640 | 0.2953 | 0.3377 |
| 0.2135 | 0.2366 | 0.2657 | 0.2956 | 0.3394 |
| 0.2145 | 0.2367 | 0.2660 | 0.2959 | 0.3410 |
| 0.2149 | 0.2376 | 0.2662 | 0.2959 | 0.3465 |
| 0.2152 | 0.2385 | 0.2664 | 0.2962 | 0.3469 |
| 0.2153 | 0.2390 | 0.2670 | 0.2963 | 0.3516 |
| 0.2156 | 0.2396 | 0.2707 | 0.2974 | 0.3537 |
| 0.2163 | 0.2398 | 0.2714 | 0.2974 | 0.3562 |
| 0.2170 | 0.2402 | 0.2719 | 0.2980 | 0.3565 |
| 0.2170 | 0.2404 | 0.2724 | 0.2980 | 0.3569 |
| 0.2175 | 0.2420 | 0.2750 | 0.2993 | 0.3569 |
| 0.2178 | 0.2440 | 0.2765 | 0.3001 | 0.3574 |
| 0.2187 | 0.2442 | 0.2768 | 0.3007 | 0.3701 |
| 0.2192 | 0.2448 | 0.2771 | 0.3030 | 0.3740 |
| 0.2201 | 0.2449 | 0.2773 | 0.3042 | 0.3751 |
| 0.2203 | 0.2451 | 0.2780 | 0.3047 | 0.3830 |
| 0.2212 | 0.2456 | 0.2786 | 0.3047 | 0.3861 |
| 0.2213 | 0.2458 | 0.2786 | 0.3049 | 0.3890 |
| 0.2233 | 0.2459 | 0.2802 | 0.3050 | 0.3890 |
| 0.2235 | 0.2462 | 0.2803 | 0.3053 | 0.3992 |
| 0.2237 | 0.2463 | 0.2807 | 0.3054 | 0.4146 |
| 0.2240 | 0.2469 | 0.2819 | 0.3074 | 0.4151 |
| 0.2242 | 0.2470 | 0.2824 | 0.3075 | |
| 0.2246 | 0.2482 | 0.2840 | 0.3077 | |
| 0.2250 | 0.2483 | 0.2840 | 0.3080 | |
| 0.2251 | 0.2486 | 0.2842 | 0.3081 | |
| 0.2256 | 0.2491 | 0.2848 | 0.3089 | |
| 0.2262 | 0.2495 | 0.2862 | 0.3097 | |
| 0.2267 | 0.2499 | 0.2865 | 0.3100 | |
| 0.2269 | 0.2505 | 0.2897 | 0.3104 | |
| 0.2274 | 0.2515 | 0.2899 | 0.3112 | |
| 0.2279 | 0.2524 | 0.2905 | 0.3127 | |
| 0.2281 | 0.2524 | 0.2907 | 0.3142 | |
| 0.2286 | 0.2536 | 0.2908 | 0.3152 | |
| 0.2286 | 0.2540 | 0.2911 | 0.3152 | |
| 0.2294 | 0.2543 | 0.2918 | 0.3156 | |
| 0.2304 | 0.2544 | 0.2923 | 0.3173 | |
| 0.2305 | 0.2550 | 0.2923 | 0.3183 | |
| 0.2312 | 0.2555 | 0.2926 | 0.3192 | |
| 0.2314 | 0.2555 | 0.2927 | 0.3225 | |
| 0.2322 | 0.2556 | 0.2935 | 0.3227 | |
| 0.2323 | 0.2561 | 0.2935 | 0.3232 | |
| 0.2325 | 0.2574 | 0.2936 | 0.3248 | |
| 0.2328 | 0.2574 | 0.2938 | 0.3251 | |
| 0.2336 | 0.2580 | 0.2939 | 0.3252 | |
| 0.2340 | 0.2608 | 0.2940 | 0.3278 | |
| 0.2348 | 0.2611 | 0.2941 | 0.3315 | |
| 0.2348 | 0.2612 | 0.2947 | 0.3316 | |
| 0.2358 | 0.2627 | 0.2947 | 0.3326 | |
| 0.2358 | 0.2633 | 0.2950 | 0.3342 | |
| 0.2364 | 0.2639 | 0.2953 | 0.3351 | |

Anexo I-B. Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras Planificadas con el Software (Continuación).

| Intervalos de clase | | Frecuencia | Frecuencia Acumulada | %Frecuencia Acumulada |
|---------------------|-------|------------|----------------------|-----------------------|
| 0.064 | 0.254 | 13 | 13 | 1.5% |
| 0.255 | 0.445 | 21 | 34 | 3.8% |
| 0.446 | 0.636 | 44 | 78 | 8.8% |
| 0.637 | 0.827 | 58 | 136 | 15.3% |
| 0.828 | 1.018 | 89 | 225 | 25.3% |
| 1.019 | 1.209 | 91 | 316 | 35.5% |
| 1.210 | 1.400 | 109 | 425 | 47.7% |
| 1.401 | 1.591 | 118 | 543 | 60.9% |
| 1.592 | 1.782 | 117 | 660 | 74.1% |
| 1.783 | 1.973 | 110 | 770 | 86.4% |
| 1.974 | 2.164 | 52 | 822 | 92.3% |
| 2.165 | 2.355 | 48 | 870 | 97.6% |
| 2.356 | 2.546 | 16 | 886 | 99.4% |
| 2.547 | 2.737 | 3 | 889 | 99.8% |
| 2.738 | 2.928 | 2 | 891 | 100.0% |

Anexo I-C. Frecuencia de Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras No Planificadas con el Software.

| Intervalos de clase | | Frecuencia | Frecuencia Acumulada | %Frecuencia Acumulada |
|---------------------|-------|------------|----------------------|-----------------------|
| 0.004 | 0.031 | 9 | 9 | 1.9% |
| 0.032 | 0.059 | 15 | 24 | 5.0% |
| 0.060 | 0.087 | 19 | 43 | 9.0% |
| 0.088 | 0.115 | 32 | 75 | 15.6% |
| 0.116 | 0.143 | 52 | 127 | 26.5% |
| 0.144 | 0.171 | 40 | 167 | 34.8% |
| 0.172 | 0.199 | 51 | 218 | 45.4% |
| 0.200 | 0.227 | 67 | 285 | 59.4% |
| 0.228 | 0.255 | 58 | 343 | 71.5% |
| 0.256 | 0.283 | 36 | 379 | 79.0% |
| 0.284 | 0.311 | 59 | 438 | 91.3% |
| 0.312 | 0.339 | 22 | 460 | 95.8% |
| 0.340 | 0.367 | 10 | 470 | 97.9% |
| 0.368 | 0.395 | 7 | 477 | 99.4% |
| 0.396 | 0.423 | 3 | 480 | 100.0% |

Anexo I-D. Frecuencia de Datos de Diferencia de Distancia de Voladuras Planificadas con el Software.

ANEXOS II. ANÁLISIS DE VARIANZA

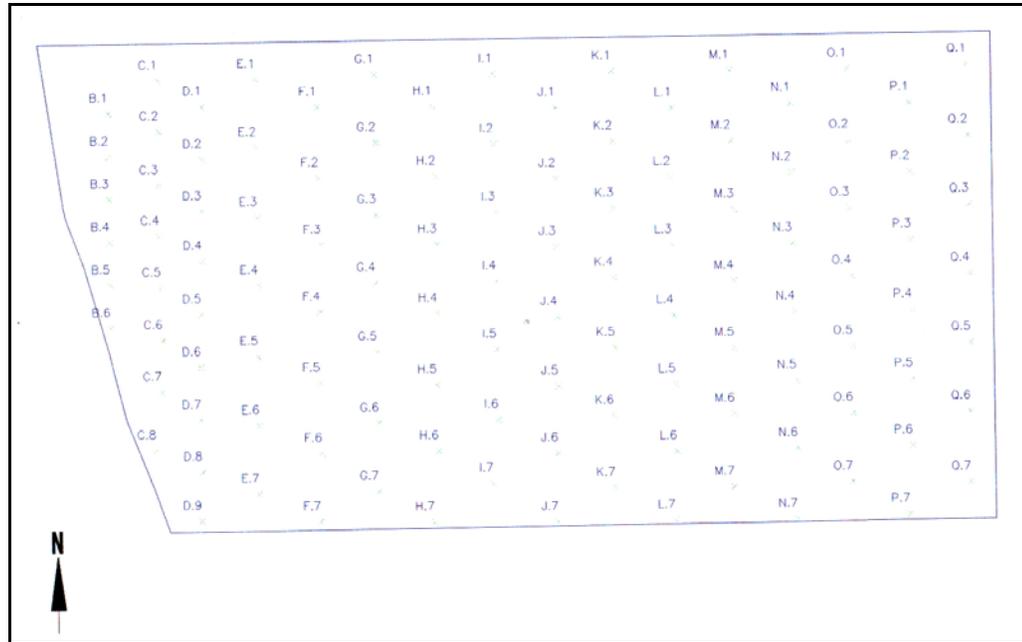
F = Razón estadística (Distribución F) con v_1 , v_2 grados de libertad y con 95% de significancia.

X = Hay efecto Significativo.

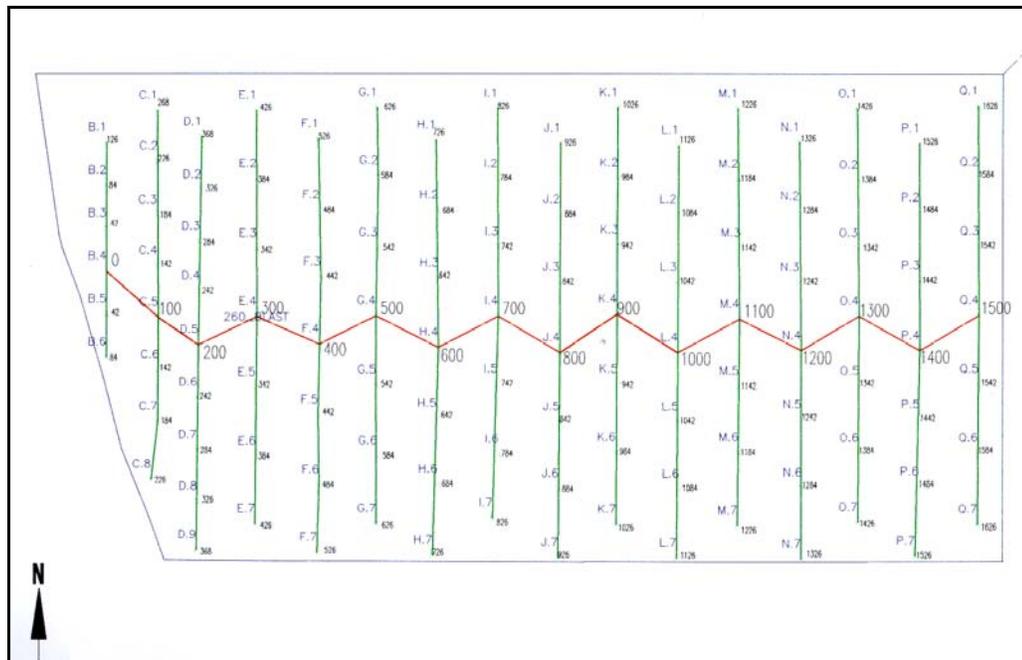
O = No hay efecto significativo.

| Fuente de Variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F Calculado | F Teórico | 95% Signif. Alfa ,05 |
|---------------------|--------------------|-------------------|----------------|-------------|-----------|----------------------|
| Productividad | 1 | 1.4186 | 1.4186 | 0.0390 | 3.92 | O |
| DF | 1 | 0.1180 | 0.1180 | 4.8858 | 3.92 | X |
| DM | 1 | 0.3709 | 0.3709 | 11.8218 | 3.92 | X |
| U | 1 | 0.5111 | 0.5111 | 29.1558 | 3.92 | X |
| Precisión | 1 | 503.6448 | 503.6448 | 2624.5416 | 3.84 | X |

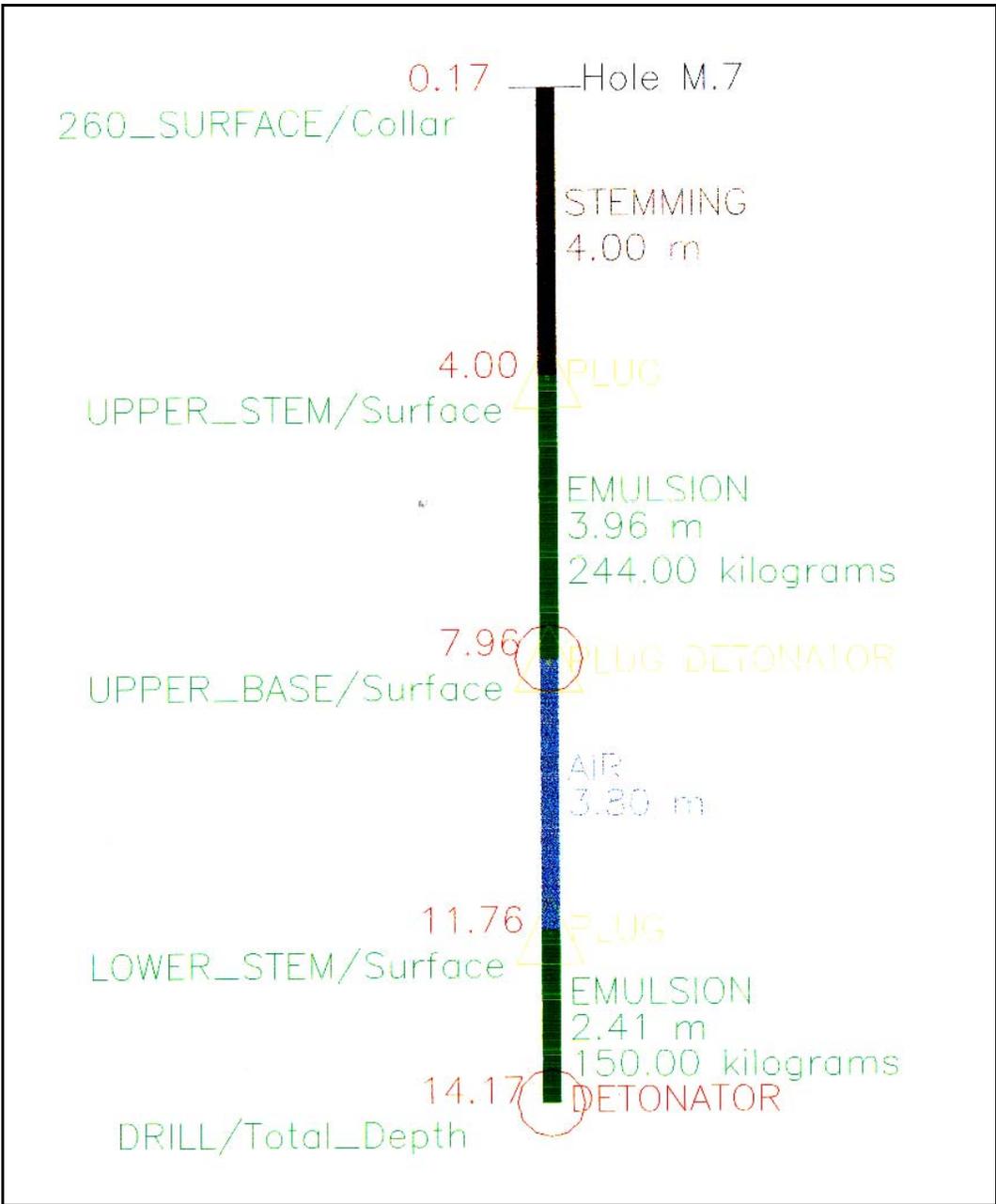
ANEXOS III. VOLADURAS PLANIFICADAS CON EL SOFTWARE DRILL & BLAST



Anexo III-A. Barrenos Voladura #229.



Anexo III-B. Amarre Voladura #229.

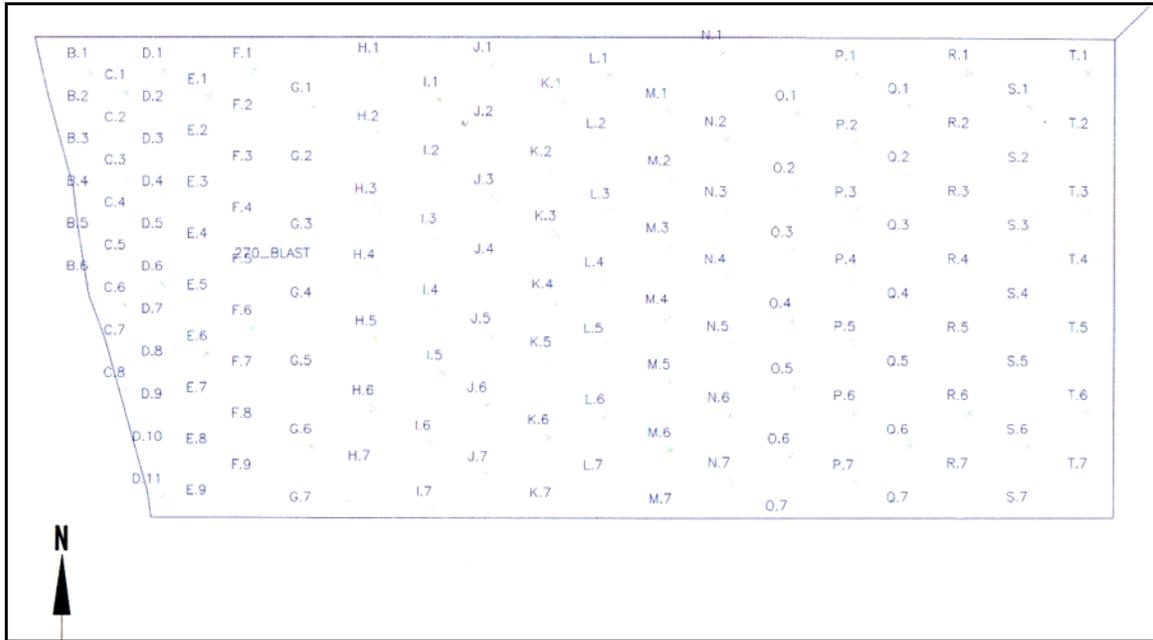


Anexo III-C. Sección de Barreno Tipo de Voladura #229.

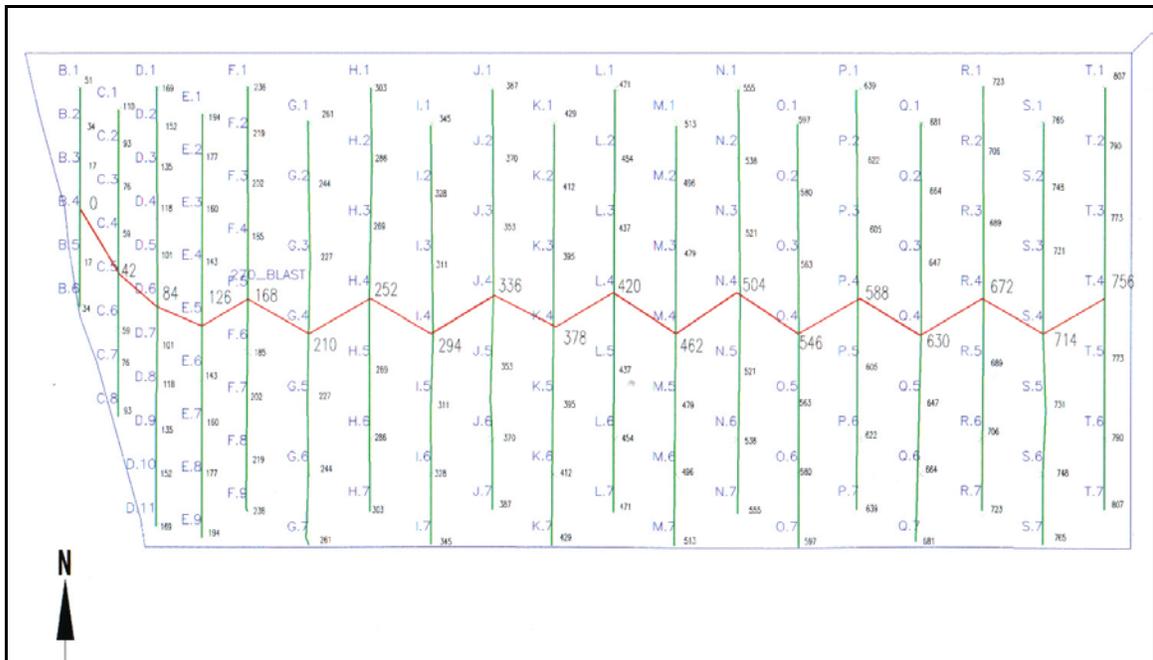
DE REQ. 114017*BAJO MANTO*

| VOLADURA | | 229 | | GERENCIA DE PRODUCCION PERFORACION Y VOLADURA REPORTE DIARIO DE VOLADURA | | | | | | | |
|-----------------------|--------|-------|---------|--|-------------|------------|------------------|-------|--------|-------|---------|
| DESCRIPCION | S/C | TIPO | Consumo | FECHA: | 24/06/01 | DE NIVEL : | 0 | 6M/80 | -12 | | |
| EXPLOSIVO | | | | SUP. | MAURO MORON | SUP. MINA: | ANTONIO GONZALEZ | | | | |
| ANFO | 307579 | kgs | | TIEMPO DE VOLADURA: | | | | | | | |
| APEX-LA | 469999 | kgs | 30434 | HORA ENCENDIDO DE MECHA : | 4:35 PM | | | | | | |
| CAVIMEX 90 | 439687 | kgs | | HORA FIN DEL PROCESO : | 4:40 PM | | | | | | |
| BOOSTER - .45 GRS | 377291 | kgs | 71.5 | TOTAL TIEMPO DE VOLADURA : | 0:05 MIN | | | | | | |
| CORDON DET. 5 GR. | 247213 | mts | 250 | | | | | | | | |
| ACCESORIOS | | | | | MANTO | PATRON | MLVT | MLVB | HUECOS | DIAM. | VOL M3B |
| MECHA DE SEGURID. | 247288 | mts | 3 | C.INFERIOR | | | 0 | 0 | 0 | 9 7/8 | 0 |
| FULMINANTE - MS 8 | 247312 | pieza | 2 | BAJO MANTO | | | 664.4 | 0 | 108 | 9 7/8 | 60520.4 |
| RETARDO 17 MS 20 FT | 247221 | pieza | | PULL/FACE | | | 0 | 0 | 0 | 9 7/8 | 0 |
| RETARDO 17 MS 30 FT | 371732 | pieza | | PRECORTE | | | | | | | |
| RETARDO 17 MS 40 FT | 407569 | pieza | | | | | | | | | |
| RETARDO 42 MS 20 FT | 247247 | pieza | | | | | 664.4 | 0.0 | 108 | | 60520 |
| RETARDO 42 MS 30 FT | 377200 | pieza | | | | | | | | | |
| RETARDO 42 MS 40 FT | 377269 | pieza | 114 | TOTAL KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO | | | 30506 | | | | |
| RETARDO 100MS 20 FT | | | | TOTAL METROS CUBICOS BANCO VOLADO | | | 60520 | | | | |
| RETARDO 100MS 30 FT | | | | FACTOR DE CARGA | | | 0.50 | | | | |
| RETARDO 100MS 40 FT | 460139 | pieza | 15 | OBSERVACIONES : | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 30 FT | 377143 | pieza | 43 | CON CUSTODIA DE LA GUARDIA NACIONAL | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 40 FT | 377135 | pieza | 26 | FRAGMENTACION BUENA | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 60 FT | 377127 | pieza | 35 | CARGA CON EMULSION EN BARRENOS CON AGUA | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 80 FT | 377119 | pieza | 39 | DENSIDAD DEL APEX: 1:04 | | | | | | | |
| NONEL 12,400 MS 60 FT | 432567 | pieza | | TEMPERATURA DEL APEX: 66 | | | | | | | |
| NONEL 12,400 MS 80 FT | 432568 | pieza | | % DE GASOIL EN LOS CAMIONES: | | | | | | | |
| | | | | SE INICIO EL DISPARO POR | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 12 M | 382721 | pieza | | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 14 M | 382762 | pieza | | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 18 M | 382754 | pieza | | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 24 M | 405522 | pieza | | | | | | | | | |
| RECIP. PLAST. 97/8 | 433904 | pieza | | | | | | | | | |
| PARA-PLUS | 452884 | pieza | 19 | | | | | | | | |
| GASBAG | 433896 | pieza | 27 | | | | | | | | |
| CONTRAPESOS | 488080 | pieza | 0 | | | | | | | | |

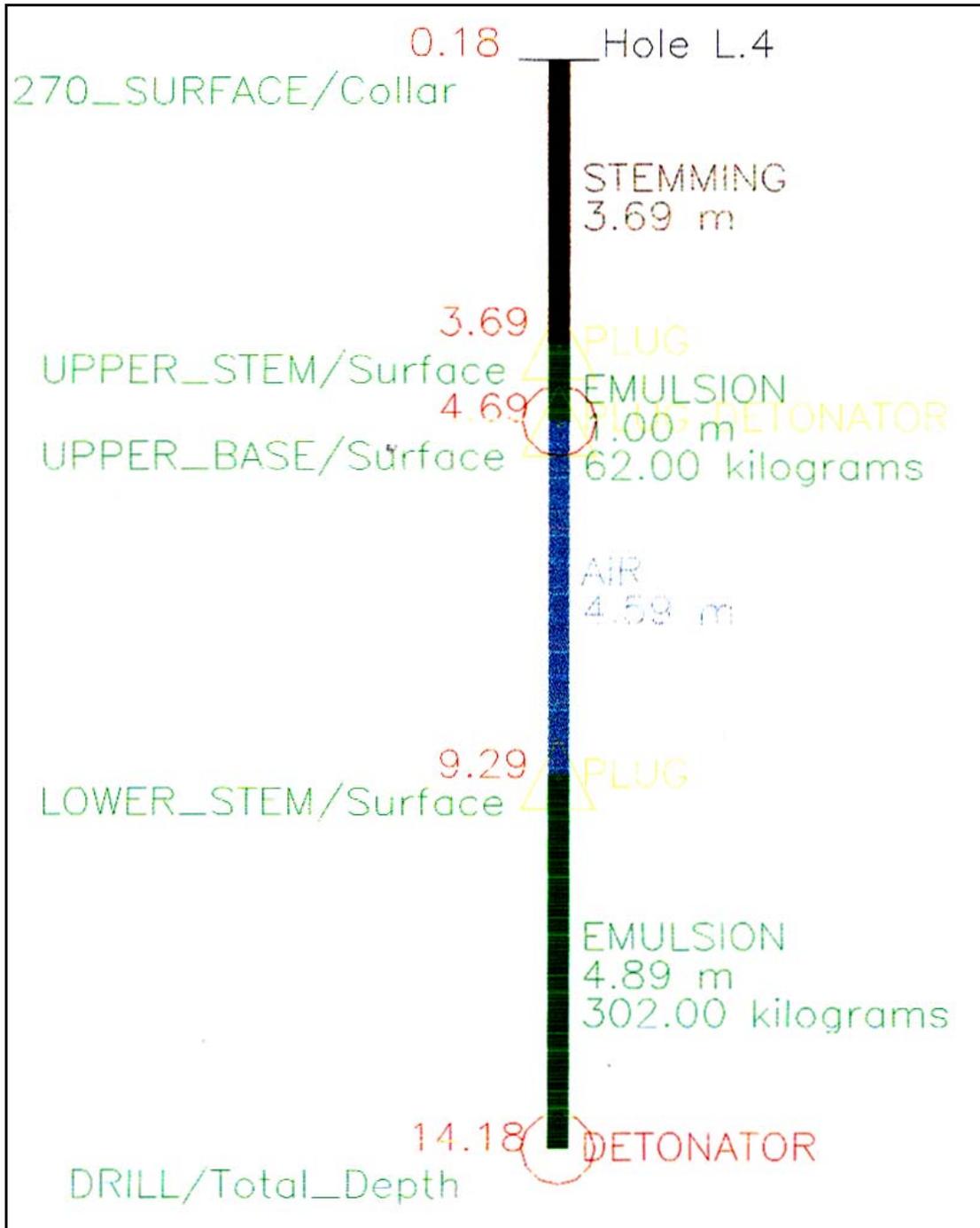
Anexo III-D. Reporte del Departamento de Producción de Voladura #229.



Anexo III-E. Barrenos Voladura #237.



Anexo III-F. Amarre Voladura #237.



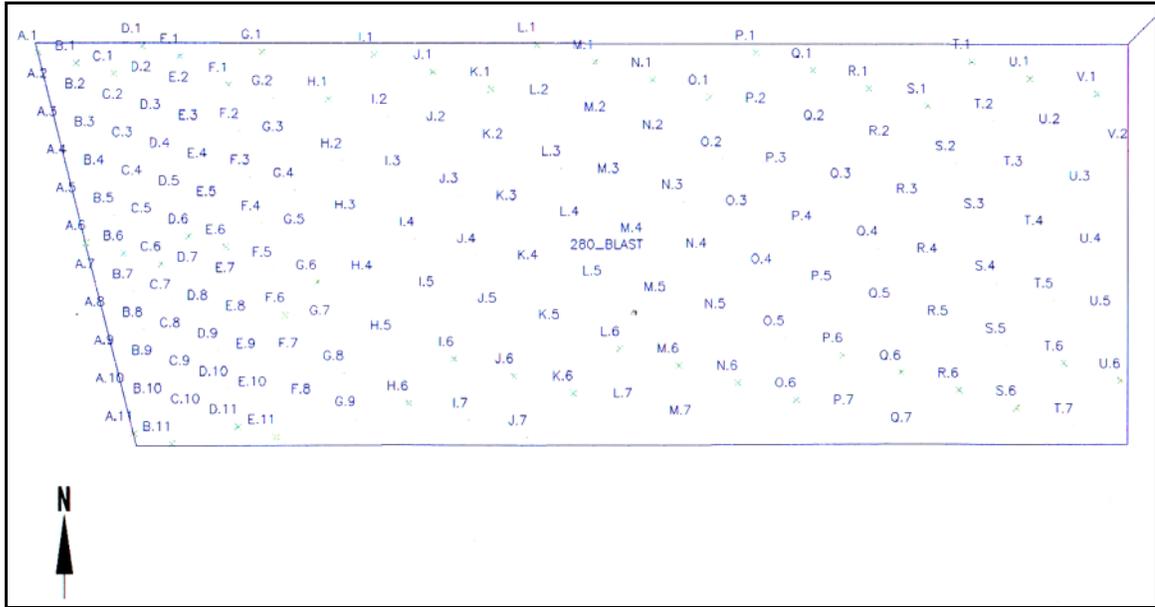
Anexo III-G. Sección de Barreno Tipo de Voladura #237.

DE REQ.

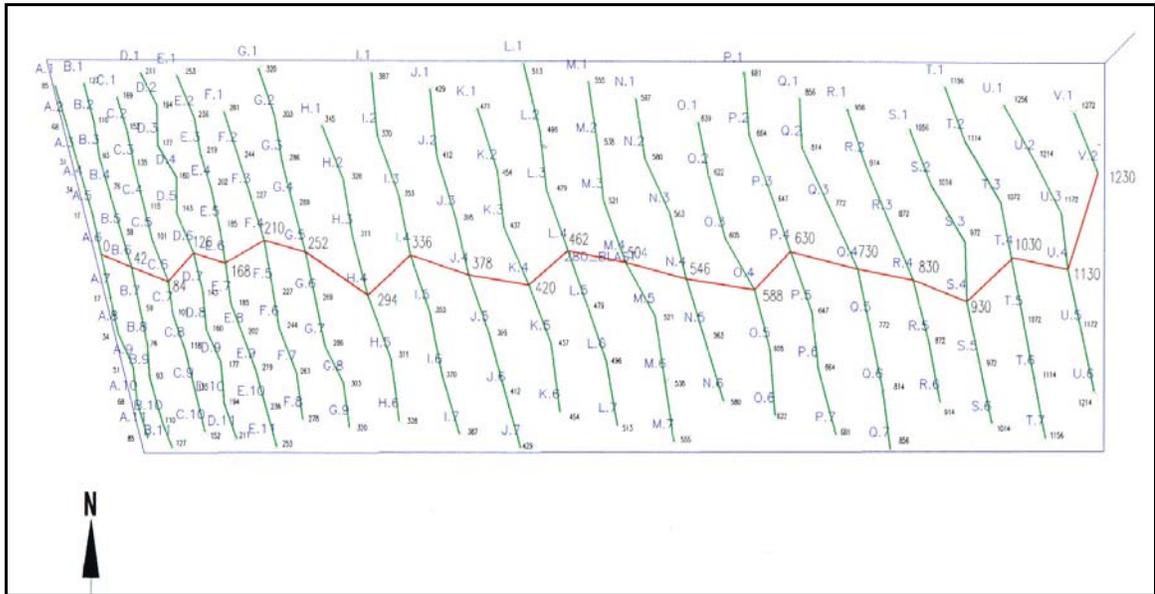
K21181

| VOLADURA | | 237 | | GERENCIA DE PRODUCCION PERFORACION Y VOLADURA REPORTE DIARIO DE VOLADURA | | | | | | |
|-----------------------|--------|-------|---------|--|----------|------------|-------|-------------|-------|---------|
| DESCRIPCION | S/C | TIPO | Consumo | FECHA: | 29/06/01 | DE NIVEL : | 0 | 6M/60 | | |
| EXPLOSIVO | | | | | | | | | | |
| ANFO | 307579 | kgs | | SUP. JALBORNOZ | | SUP. MINA: | | ALONSO LEON | | |
| APEX-LA | 469999 | kgs | ✓ 21561 | TIEMPO DE VOLADURA: | | | | | | |
| CAVIMEX 90 | 439687 | kgs | | HORA ENCENDIDO DE MECHA : | | 12:00 PM | | | | |
| BOOSTER - .45 GRS | 377291 | kgs | 66 | HORA FIN DEL PROCESO : | | 12:05 PM | | | | |
| CORDON DET. 5 GR. | 247213 | mts | | TOTAL TIEMPO DE VOLADURA : | | 0:05 MIN | | | | |
| ACCESORIOS | | | | MANTO | PATRON | MLVT | MLVB | HUECOS | DIAM. | VOL M3B |
| MECHA DE SEGURID. | 247288 | mts | 3 | C SUPERIOR | | 178 | 178 | 31 | 9 7/8 | 6622 |
| FULMINANTE - MS 8 | 247312 | pieza | 2 | BAJO MANTO | | 984 | 946 | 82 | 9 7/8 | 48773 |
| RETARDO 17 MS 20 FT | 247221 | pieza | | FULL/FACE | | 0 | 0 | 0 | 9 7/8 | 0 |
| RETARDO 17 MS 30 FT | 371732 | pieza | | | | | | | | |
| RETARDO 17 MS 40 FT | 407569 | pieza | 99 | | | | | | | |
| RETARDO 42 MS 20 FT | 247247 | pieza | | | | 1162 | 1123 | 113 | | 55395 |
| RETARDO 42 MS 30 FT | 377200 | pieza | | | | | | | | |
| RETARDO 42 MS 40 FT | 377259 | pieza | 15 | TOTAL KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO | | | 21627 | | | |
| RETARDO 100MS 20 FT | | | | TOTAL METROS CUBICOS BANCO VOLADO | | | 55395 | | | |
| RETARDO 100MS 30 FT | | | | FACTOR DE CARGA | | | 0.39 | | | |
| RETARDO 100MS 40 FT | 460139 | pieza | | OBSERVACIONES : | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 30 FT | 377143 | pieza | | CON CUSTODIA DE LA GUARDIA NACIONAL | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 40 FT | 377135 | pieza | 20 | FRAGMENTACION BUENA | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 60 FT | 377127 | pieza | 87 | CARGA CON EMULSION EN BARRENOS CON AGUA | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 80 FT | 377119 | pieza | 22 | DENSIDAD DEL APEX: 1.06 | | | | | | |
| NONEL 12,400 MS 60 FT | 432567 | pieza | 3 | TEMPERATURA DEL APEX: 60 - 58 | | | | | | |
| NONEL 12,400 MS 80 FT | 432568 | pieza | | % DE GASOIL EN LOS CAMIONES: | | | | | | |
| | | | | SE INICIO EL DISPARO POR CENTRO HACIA EL OESTE | | | | | | |
| | | | | RETARDOS ENTRE LINEAS DE 42 ms Y ENTRE POZOZOS DE 17 ms. | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 12 M | 382721 | pieza | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 14 M | 382762 | pieza | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 18 M | 382754 | pieza | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 24 M | 405522 | pieza | | | | | | | | |
| RECIP. PLAST. 97/8 | 433904 | pieza | | | | | | | | |
| PARA-PLUS | 452664 | pieza | 68 | | | | | | | |
| GASBAG | 433896 | pieza | 32 | | | | | | | |
| CONTRAPESOS | 488080 | pieza | 96 | | | | | | | |

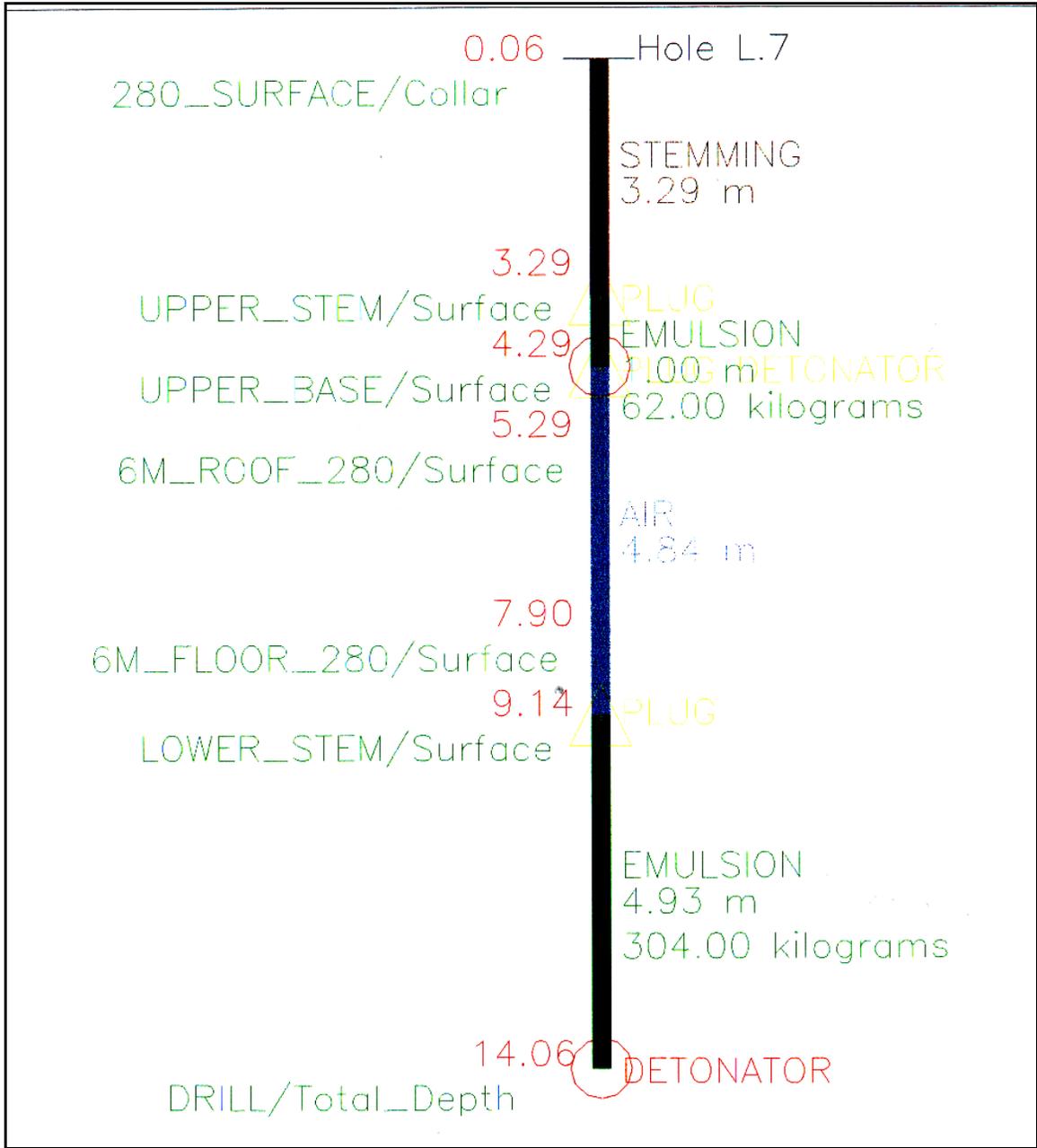
Anexo III-H. Reporte del Departamento de Producción de Voladura #237.



Anexo III-I. Barrenos Voladura #245.



Anexo III-J. Amarre Voladura #245.



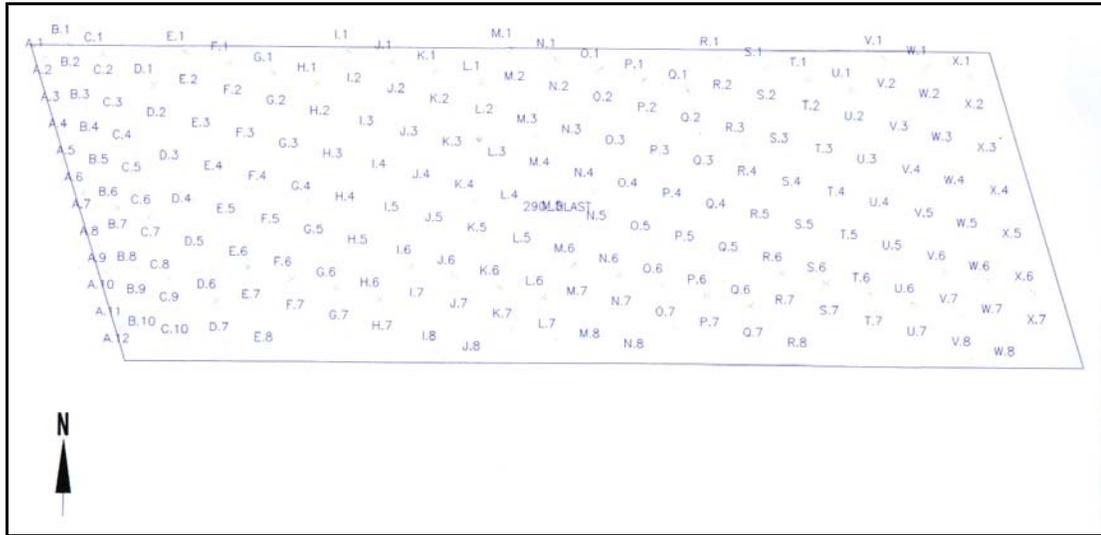
Anexo III-K. Sección de Barreno Tipo de Voladura #245.

DE REQ.

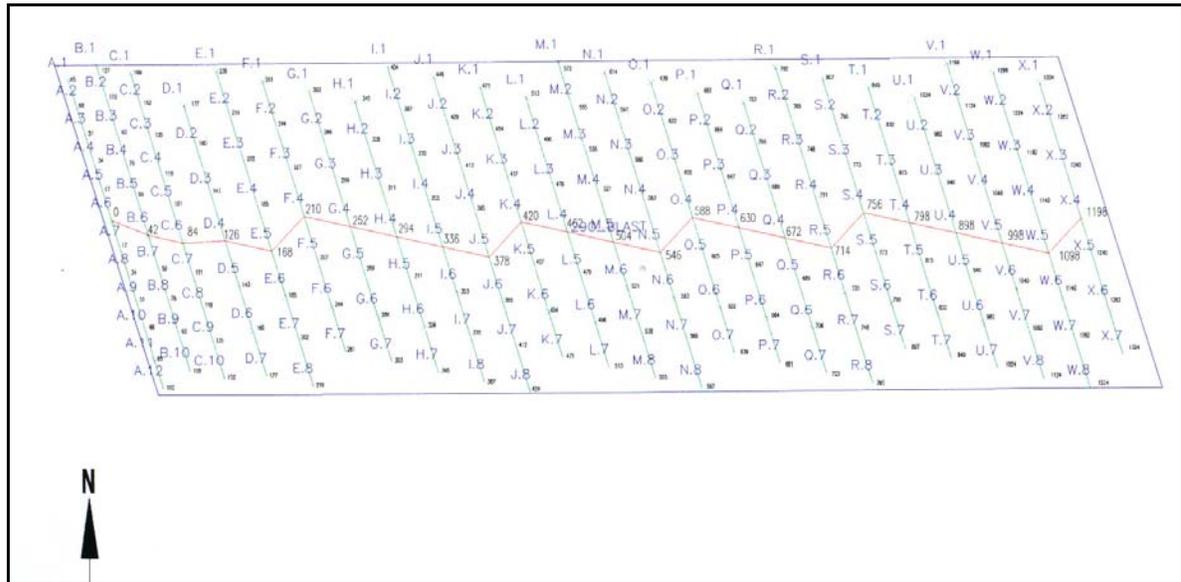
D21367

| VOLADURA | | 245 | | GERENCIA DE PRODUCCION PERFORACION Y VOLADURA REPORTE DIARIO DE VOLADURA | | | | |
|-----------------------|--------|-------|---------|--|-----------|------------|------------------|--------|
| DESCRIPCION | S/C | TIPO | Consumo | FECHA: | 4/07/01 | DE NIVEL : | 0 | 6M/60 |
| EXPLOSIVO | | | | | | | | |
| ANFO | 307579 | kgs | | SUP. | JALBORNOZ | SUP. MINA: | WILLIAN PORTILLO | |
| APEX-LA | 469999 | kgs | 31516 | TIEMPO DE VOLADURA: | | | | |
| CAVIMEX 90 | 439687 | kgs | | HORA ENCENDIDO DE MECHA : 12:30 PM | | | | |
| BOOSTER -.45 GRS | 377291 | kgs | 83.5 | HORA FIN DEL PROCESO : 12:05 PM | | | | |
| CORDON DET. 5 GR. | 247213 | mts | | TOTAL TIEMPO DE VOLADURA : 0:05 MIN | | | | |
| ACCESORIOS | | | | MANTO | PATRON | MLVT | MLVB | HUECOS |
| MECHA DE SEGURID. | 247288 | mts | 3 | | | 0 | 0 | 0 |
| FULMINANTE - MS 8 | 247312 | pieza | 2 | BAJO MANTO | | 1192 | 0 | 120 |
| RETARDO 17 MS 20 FT | 247221 | pieza | | FULL/FACE | | 0 | 0 | 0 |
| RETARDO 17 MS 30 FT | 371732 | pieza | | | | | | |
| RETARDO 17 MS 40 FT | 407569 | pieza | 71 | | | | | |
| RETARDO 42 MS 20 FT | 247247 | pieza | | | | 1192 | 0 | 120 |
| RETARDO 42 MS 30 FT | 377200 | pieza | | | | | | |
| RETARDO 42 MS 40 FT | 377259 | pieza | 44 | TOTAL KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO | | 31600 | | |
| RETARDO 100MS 20 FT | | | | TOTAL METROS CUBICOS BANCO VOLADO | | 67786 | | |
| RETARDO 100MS 30 FT | | | | FACTOR DE CARGA | | 0.47 | | |
| RETARDO 100MS 40 FT | 460139 | pieza | 7 | OBSERVACIONES : CON CUSTODIA DE LA GUARDIA NACIONAL FRAGMENTACION BUENA CARGA CON EMULSION EN BARRENOS CON AGUA DENSIDAD DEL APEX: 1:05 - 1.07 TEMPERATURA DEL APEX: 39 % DE GASOIL EN LOS CAMIONES: SE INICIO EL DISPARO POR CENTRO HACIA EL OESTE RETARDOS ENTRE LINEAS DE 42 ms Y ENTRE POZOZS DE 17 ms PARA LA CUÑA Y EL BAJO MANTO Y 42 ms y 100ms PARA EL FULL FACE. los retardos de 100 ms x 40 ft del s/c 460139 son de regalia no se incluyen en el mins | | | | |
| NONEL 12,500 MS 30 FT | 377143 | pieza | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 40 FT | 377135 | pieza | 99 | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 60 FT | 377127 | pieza | 68 | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 80 FT | 377119 | pieza | | | | | | |
| NONEL 12,400 MS 60 FT | 432567 | pieza | | | | | | |
| NONEL 12,400 MS 80 FT | 432568 | pieza | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 12 M | 382721 | pieza | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 14 M | 382762 | pieza | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 18 M | 382754 | pieza | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 24 M | 405522 | pieza | | | | | | |
| RECIP. PLAST. 97/8 | 433904 | pieza | | | | | | |
| PARA-PLUS | 452664 | pieza | 117 | | | | | |
| GASBAG | 433896 | pieza | 30 | | | | | |
| CONTRAPESOS | 488080 | pieza | 130 | | | | | |

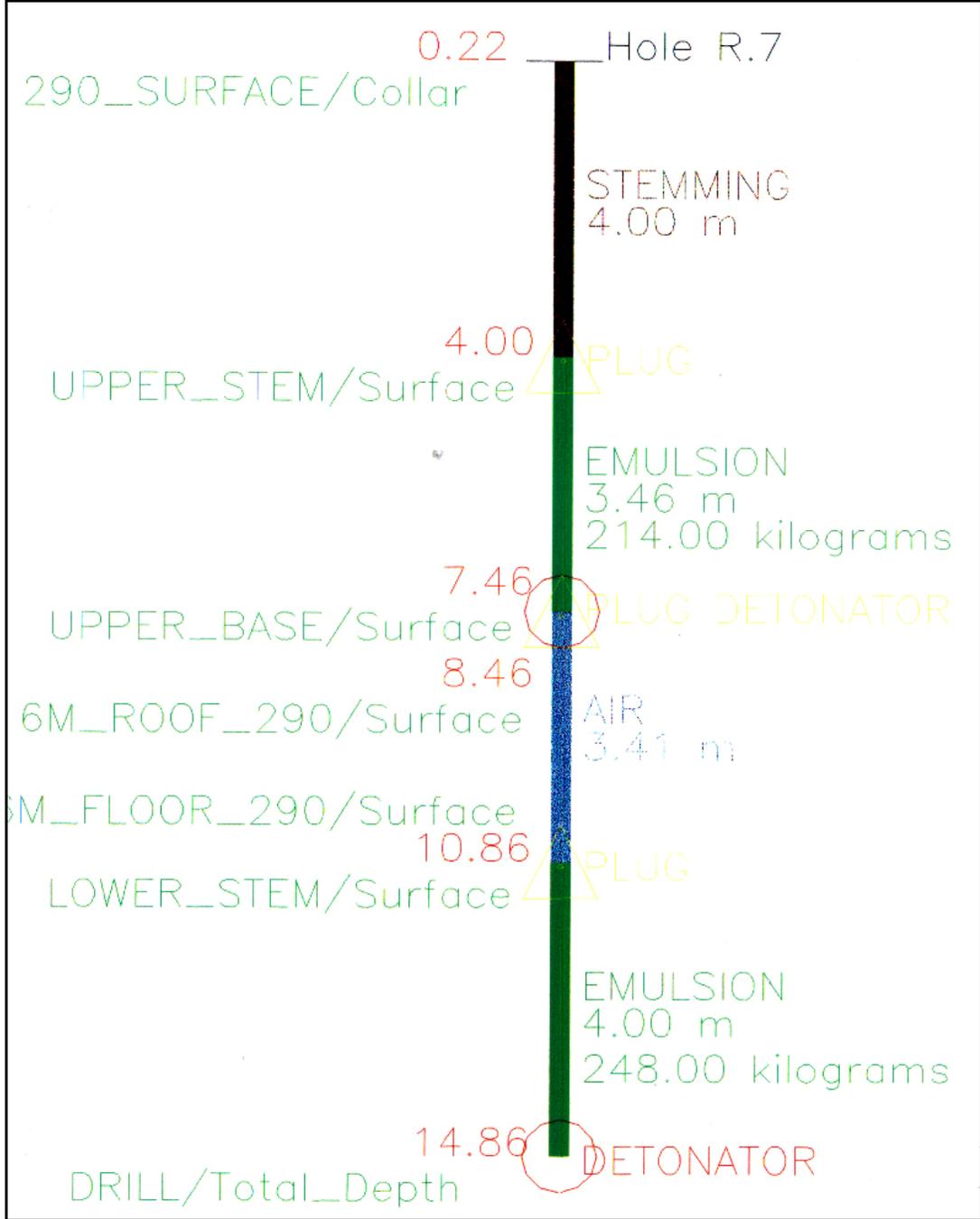
Anexo III-L. Reporte del Departamento de Producción de Voladura #245.



Anexo III-M. Barrenos Voladura #280.



Anexo III-N. Amarre Voladura #280.



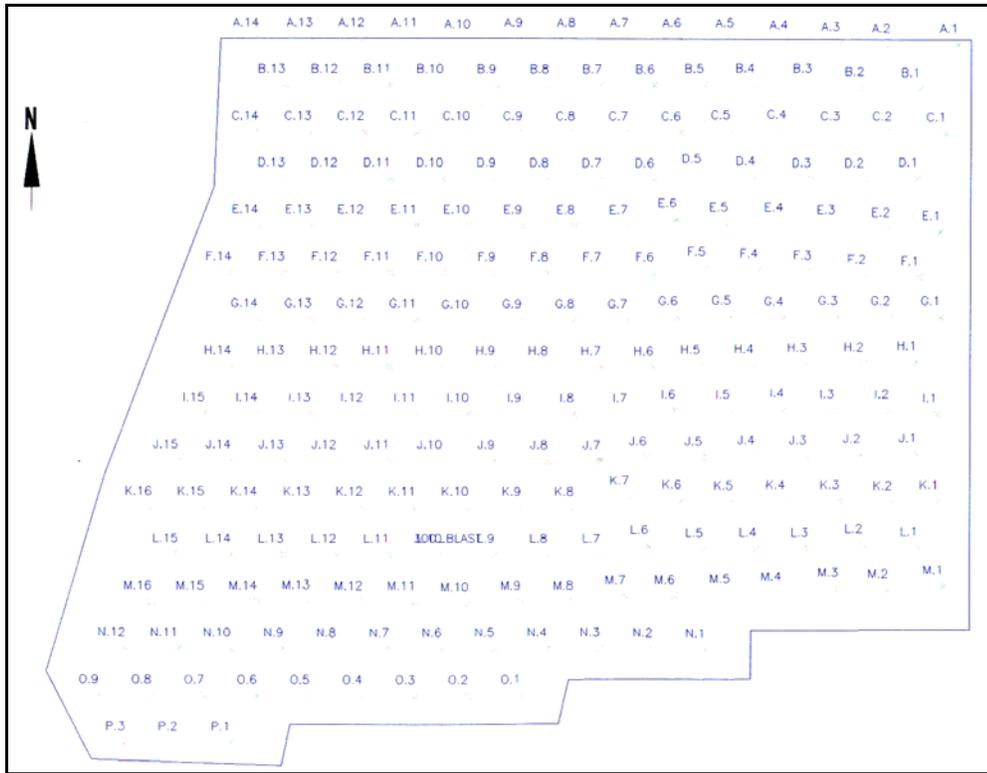
Anexo III-O. Sección de Barreno Tipo de Voladura #280.

DE REQ.

F22006

| VOLADURA | | 280 | | GERENCIA DE PRODUCCION PERFORACION Y VOLADURA REPORTE DIARIO DE VOLADURA | | | | | | | |
|-----------------------|--------|-------|---------|--|-----------|------------|-------------|-------------------------------------|--------|--------|---------|
| DESCRIPCION | S/C | TIPO | Consumo | FECHA: | 26/07/01 | DE NIVEL : | 0 | | | -12 | |
| EXPLOSIVO | | | | | | | | | | | |
| ANFO | 307579 | kgs | 1521 | SUP. | G. MENDEZ | SUP. MINA: | A. GONXALEZ | | | | |
| APEX-LA | 469999 | kgs | 50628 | TIEMPO DE VOLADURA: | | | | | | | |
| CAVIMEX 90 | 439687 | kgs | | HORA ENCENDIDO DE MECHA : | | | 5:30 PM | | | | |
| BOOSTER - .45 GRS | 377291 | kgs | 127 | HORA FIN DEL PROCESO : | | | 5:35 PM | | | | |
| CORDON DET. 5 GR. | 247213 | mts | | TOTAL TIEMPO DE VOLADURA : | | | 0:05 MIN | | | | |
| ACCESORIOS | | | | | | | | | | | |
| MECHA DE SEGURID. | 247288 | mts | 3 | C.INFERIOR | MANTO | PATRON | MLVT | MLVB | HUECOS | DIAM. | VOL M3B |
| FULMINANTE - MS 8 | 247312 | pieza | 2 | C.SUPERIOR | | | 0 | 0 | 0 | 9 7/8 | 0 |
| RETARDO 17 MS 20 FT | 247221 | pieza | | FULL/FACE | | | 0 | 0 | 0 | 9 7/8 | 0 |
| RETARDO 17 MS 30 FT | 371732 | pieza | | CARBON | | | | | | | |
| RETARDO 17 MS 40 FT | 407569 | pieza | 117 | BAJO MANTO | 6M-60 | 8*8 | 2036 | 1790 | 173 | 9 7/8 | 106800 |
| RETARDO 42 MS 20 FT | 247247 | pieza | | | | | 2036.0 | 1790.0 | 173 | | 106800 |
| RETARDO 42 MS 30 FT | 377200 | pieza | | | | | | TOTAL KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO | | 52276 | |
| RETARDO 42 MS 40 FT | 377259 | pieza | 48 | | | | | TOTAL METROS CUBICOS BANCO VOLADO | | 106800 | |
| RETARDO 100MS 20 FT | | | | | | | | FACTOR DE CARGA | | 0.49 | |
| RETARDO 100MS 30 FT | | | | OBSERVACIONES : | | | | | | | |
| RETARDO 100MS 40 FT | 460139 | pieza | 4 | VOLADURA BAJO MANTO | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 30 FT | 377143 | pieza | 61 | ESTUBO PRESENTE LA CUSTODIA DE LA GUARDIA NACIONAL | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 40 FT | 377135 | pieza | 77 | FRAGMENTACION BUENA | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 60 FT | 377127 | pieza | 89 | CARGA CON EMULSION EN BARRENOS CON AGUA | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 80 FT | 377119 | pieza | 26 | DENSIDAD DEL APEX: 1.33- 131- 1.29 | | | | | | | |
| NONEL 12,400 MS 60 FT | 432567 | pieza | | TEMPERATURA DEL APEX: 70 | | | | | | | |
| NONEL 12,400 MS 80 FT | 432568 | pieza | | % DE GASOIL EN LOS CAMIONES: , 5963=5.85 ,5913= CAMALEON = | | | | | | | |
| | | | | SE INICIO EL DISPARO POR EL OESTE CENTRO. | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 12 M | 382721 | pieza | | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 14 M | 382762 | pieza | | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 18 M | 382754 | pieza | 6 | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 24 M | 405522 | pieza | | | | | | | | | |
| RECIP. PLAST. 97/8 | 433904 | pieza | | | | | | | | | |
| PARA-PLUS | 452664 | pieza | 164 | | | | | | | | |
| GASBAG | 433898 | pieza | 67 | | | | | | | | |
| CONTRAPESOS | 488080 | pieza | 240 | | | | | | | | |

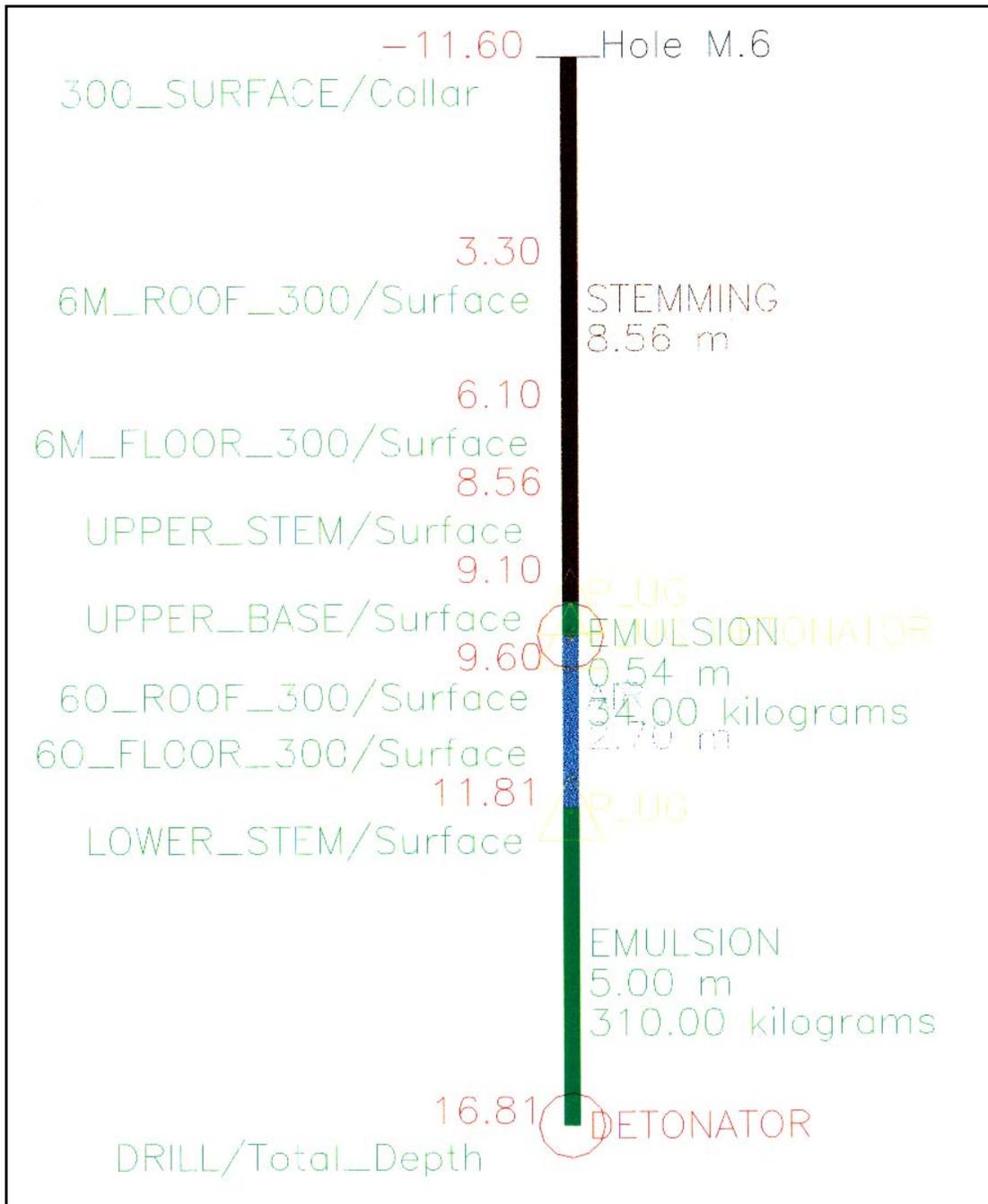
Anexo III-P. Reporte del Departamento de Producción de Voladura #280.



Anexo III-Q. Barrenos Voladura #313.



Anexo III-R. Sección Transversal de Voladura #313.



Anexo III-S. Sección de Barreno Tipo de Voladura #313.

DE REQ. 1000

| VOLADURA | | 313 | | GERENCIA DE PRODUCCION PERFORACION Y VOLADURA REPORTE DIARIO DE VOLADURA | | | | | | | |
|-----------------------|--------|-------|---------|--|----------|------------|--------|----------|-----|-------|--------|
| DESCRIPCION | S/C | TIPO | Consumo | FECHA: | 14/08/01 | DE NIVEL : | -12 | -24 | | | |
| EXPLOSIVO | | | | SUP. G. MENDEZ SUP. MINA: W. PORTILLO | | | | | | | |
| ANFO | 307579 | kgs | | TIEMPO DE VOLADURA: | | | | | | | |
| APEX-LA | 469999 | kgs | 60280 | HORA ENCENDIDO DE MECHA : | | | | 4:30 PM | | | |
| CAVIMEX 90 | 439687 | kgs | | HORA FIN DEL PROCESO : | | | | 4:35 PM | | | |
| BOOSTER - .45 GRS | 377291 | kgs | 209.5 | TOTAL TIEMPO DE VOLADURA : | | | | 0:05 MIN | | | |
| CORDON DET. 5 GR. | 247213 | mts | | | | | | | | | |
| ACCESORIOS | | | | | | | | | | | |
| MECHA DE SEGURID. | 247288 | mts | 3 | C.INFERIOR | | | 0 | 0 | 0 | 9 7/8 | 0 |
| FULMINANTE - MS 8 | 247312 | pieza | 2 | C.SUPERIOR | | | 0 | 0 | 0 | 9 7/8 | 0 |
| RETARDO 17 MS 20 FT | 247221 | pieza | | FULL/FACE | | | 0 | 0 | 0 | 9 7/8 | 0 |
| RETARDO 17 MS 30 FT | 371732 | pieza | | CARBON | | | | | | | |
| RETARDO 17 MS 40 FT | 407669 | pieza | 288 | BAJO MANTO | 6M-60 | 8"8 | 2973 | 2973 | 298 | 9 7/8 | 154421 |
| RETARDO 42 MS 20 FT | 247247 | pieza | | | | | 2973.0 | 2973.0 | 298 | | 154421 |
| RETARDO 42 MS 30 FT | 377200 | pieza | | | | | | | | | |
| RETARDO 42 MS 40 FT | 377269 | pieza | 22 | TOTAL KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO USADO | | | 60490 | | | | |
| RETARDO 100MS 20 FT | | | | TOTAL METROS CUBICOS BANCO VOLADO | | | 154421 | | | | |
| RETARDO 100MS 30 FT | | | | FACTOR DE CARGA | | | 0.39 | | | | |
| RETARDO 100MS 40 FT | 460139 | pieza | | OBSERVACIONES : | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 30 FT | 377143 | pieza | 115 | VOLADURA BAJO MANTO 6M- 60 HASTA 6Q | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 40 FT | 377135 | pieza | 105 | ESTUBO PRESENTE LA CUSTODIA DE LA GUARDIA NACIONAL | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 60 FT | 377127 | pieza | 188 | FRAGMENTACION BUENA | | | | | | | |
| NONEL 12,500 MS 80 FT | 377119 | pieza | 11 | CARGA CON Y APEX | | | | | | | |
| NONEL 12,400 MS 60 FT | 432667 | pieza | | DENSIDAD DEL APEX:1.05 | | | | | | | |
| NONEL 12,400 MS 80 FT | 432668 | pieza | | TEMPERATURA DEL APEX: 69 | | | | | | | |
| | | | | SE INICIO EL DISPARO POR EL CENTRO-ESTE | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 12 M | 382721 | pieza | | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 14 M | 382762 | pieza | | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 18 M | 382764 | pieza | | | | | | | | | |
| BOLSAS DE 9 7/8 24 M | 405622 | pieza | | | | | | | | | |
| RECIP. PLAST. 97/8 | 433904 | pieza | | | | | | | | | |
| PARA-PLUS | 462664 | pieza | 221 | | | | | | | | |
| GASBAG | 433896 | pieza | 77 | | | | | | | | |
| CONTRAPESOS | 488080 | pieza | 270 | | | | | | | | |

Anexo III-T. Reporte del Departamento de Producción de Voladura #313.

ANEXOS IV. RESULTADOS VOLADURAS PLANIFICADAS CON EL SOFTWARE DRILL & BLAST



Anexo IV-A. Fragmentación Voladura #229.



Anexo IV-B. Fragmentación Voladura #237.



Anexo IV-C. Secuencia y Fragmentación de Voladura #245.



Anexo IV-D. Fragmentación Voladura #280.