

**Métodos voladura, para la extracción de hierro en la mina del Uvo –
Boyacá**

Karen Susana Mariño Marulanda
Julio 2016

Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Estudios a Distancia - FAEDIS
Programa de Ingeniería Civil

**“MÉTODOS VOLADURA, PARA LA EXTRACCIÓN DE HIERRO
EN LA MINA DEL UVO – BOYACÁ”**

**KAREN SUSANA MARIÑO MARULANDA
CÓDIGO: D7300335**

**Trabajo de Grado para optar al Título de
Ingeniero Civil**

**Director:
Ing. CESAR AUGUSTO LÓPEZ QUINTERO
Magister en Defensa y Seguridad Nacional de la Escuela Superior de
Guerra**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2016**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., 17 de Julio de 2016

Dedicatoria

A mi familia, porque son la fuerza que impulsa mi vida, en especial a mi hijo que es mi centro de mi vida, y a mi mamá y mi esposo que son mi apoyo constante, a ellos les debo todos mis logros, y metas cumplidas.

A mi alma mater, porque siempre me guió por el mejor camino como profesional, y en mis caídas me ayudó a levantarme, y a llenarme de voluntad para continuar, colocándome siempre retos nuevos para ser una mejor profesional y persona.

Agradecimientos

Expreso mis agradecimientos a:

Ingeniero Cesar Augusto López Quintero, Docente FAEDIS, Universidad Militar Nueva Granada, Director del trabajo de grado.

Especialista en explosivos Matías Patiño, Supervisor de Voladura en Mina de Hierro el Uvo.

Ingeniero Jorge Acosta, Director en Mina de Hierro el Uvo.

Técnico Javier Murillo, Supervisor de Polvorin en Mina de Hierro el Uvo.

Ingeniero Cesar Augusto Páez Sánchez MSc.IC, Universidad Militar Nueva Granada, Docente Opción de Grado.

Mayor Alvarado, Escuela de Ingenieros Militares, Decano Especialización de Explosivos.

A todas las personas que me dieron su aporte de manera directa e indirectamente, para lograr culminar de la mejor manera este trabajo.

Abstract

En este trabajo se documentaran las metodologías utilizadas para el uso de los explosivos, en los procesos de extracción de hierro, a través de la minería subterránea, donde se dará una clara y detallada descripción del paso a paso del ciclo de explotación, donde a su vez se evaluaran a la par varios estándares concernientes al sistema que aplica al procedimiento implementado, como los son la geotecnia, especificaciones de los explosivos, técnicas implementadas, y la conformación del proceso que lo hace netamente eficiente.

Tabla de Contenidos

Introducción	1
Planteamiento del problema.....	1
Antecedentes	2
Justificación	6
Objetivos y alcance	10
Objetivo General	10
Objetivos Específicos.....	10
Resultados esperados	11
Alcance	11
Alcance exploratorio.....	12
Alcance descriptivo.....	12
Delimitación.....	13
Geográfica.....	13
Metodología	16
Capítulo 1 Conceptualización y generalidades de excavaciones en túneles.....	17
Caracterización de la geotecnia del suelo	17
Principios de la geología.....	17
Recursos mineros.....	20
Rasgos fisiográficos	20
Topografía.....	20
Clima y vegetación.	21
Hidrografía.....	22
Geología del área de estudio.....	23
Geología regional.....	23
Geología local.....	24
Geología del yacimiento.	24
Características geotécnicas de área de estudio.....	25
Características geotécnicas de área de estudio.....	26
Resistencia de la roca.....	27
Numero de fracturas.....	28
Condiciones de las discontinuidades.	28
Fallas.....	28
Reservas modelo de bloques.....	29
Capítulo 2 Seguridad en obras subterráneas	31
Análisis de la seguridad y transporte de los explosivos.....	31
Logística, manejo y despacho de los explosivos usados en la mina el Uvo	32
Agentes de Voladura utilizados en la mina.....	33
Anfo.....	33
Indugel.....	34
Emulsiones.....	34
Cordón detonante.....	35
Detonador Excel #8.....	36
Controles de seguridad en la explotación subterránea.....	37

Desprendimiento de roca.	37
Derrumbes.	38
Piso irregular.	38
Manipulación de sustancias químicas.	39
Explosión.	39
Presencia de humos.	39
Presencia de material particulado.	40
Presencia de vapores y gases.	42
Normas de seguridad y Sistema de Ingreso a la Mina el Uvo	43
Solicitud de ingreso.	43
Ingreso.	43
Charla de seguridad.	45
Uso de EPP'S – elementos de protección personal.	46
Examen general.	47
Transporte a la mina.	49
Polvorín y subpolvorín de la Mina el Uvo	49
Resultados obtenidos en el manejo de la seguridad en el uso de los explosivos	51
Capítulo 3 Voladura subterránea mina del Uvo.	53
Túneles de minería que lo comprende	53
Metodologías Utilizadas en la mina el Uvo.	58
Explotación por cámaras y pilares.	59
Explotación por tambores paralelos.	60
Labores de desarrollo.	62
Labores De Preparación.	63
Labores de explotación.	64
Avance efectivos de la voladura.	65
Capítulo 4 Ciclos de excavación.	67
Dimensiones geométricas de los frentes de explotación.	67
Dimensiones para labores de desarrollo.	67
Dimensiones para labores de preparación.	68
Dimensiones para labores de explosión.	68
Parámetros de perforación.	69
Excavación en los túneles de la mina del Uvo.	71
Esquema de perforación con cuña en “v”.	71
Capítulo 5 Resultados y discusión.	74
Resultados de la voladura	74
Análisis y descripción de los actuales esquemas de perforación y voladura.	75
Esquemas de perforación y voladura para labores de desarrollo y preparación	75
Bajada Central.	75
Noveno nivel.	76
Vias.	76
Esquemas perforación y voladura para labores de explotación.	77
Cámaras de perforación con Jumbo.	77
Cámaras de perforación manual (perforadora neumática).	78
Variables controlables en la perforación y voladura.	79

Resultados obtenidos	81
Demarcación del Esquema de Perforación en los Frentes.	86
Perforación en el Frente	87
Limpieza y Sopleteo de los Barrenos:	89
Cargue de los Barrenos con el Explosivo	89
Retacado de los barrenos	89
Evaluación de los resultados de la voladura:	90
Análisis y mejoras al seguimiento.	93
Lista de referencias	95
Vita.....	98

Lista de tablas

Tabla 1 - División de bloque mina de hierro el Uvo.....	27
Tabla 2 Características técnicas del ANFO	33
Tabla 3 Características técnicas del INDUGEL PLUS PM.....	34
Tabla 4 Características técnicas del EMULIND-E (Emulsión Encartuchada)	35
Tabla 5 Características técnicas del Cordón detonate.....	36
Tabla 6 Características Técnicas de Detonadores.....	37
Tabla 7. Problemas de la excavación con respecto al tipo de suelo	55
Tabla 8 Avance efectivo y rendimiento de la voladura	66
Tabla 9 Paso a paso sistemas de perforación	70
Tabla 10 Comparación entre la longitud de perforación de 1.80m y las proyectadas en el esquema.....	73
Tabla 11 Información del frente - dato 1	75
Tabla 12 Información de Voladura - dato 1	75
Tabla 13 Información del frente - dato 2	76
Tabla 14 Información de Voladura - dato 2.....	76
Tabla 15 Información del frente - dato 3	77
Tabla 16 Información de Voladura - dato 3.....	77
Tabla 17 Información del frente - dato 4	78
Tabla 18 Información de Voladura - dato 4.....	78
Tabla 19 Información del frente - dato 5	78
Tabla 20 Información de Voladura - dato 5.....	79
Tabla 21 Análisis de los resultados obtenidos en el seguimiento a los esquemas de perforación y voladura en los frentes.....	81
Tabla 22 Evaluación del avance y rendimiento de la voladura para perforación mecanizada.....	93
Tabla 23 Evaluación del avance y rendimiento de la voladura para perforación manual	94

Lista de figuras

Figura 1 Ubicación geográfica planta Acerías Paz del Rio, Boyacá, Colombia.....	13
Figura 2 Localización de la mina de hierro “el Uvo”	14
Figura 3 Boca de ingreso a la mina el Uvo.....	15
Figura 4. Columna estratigráfica generalizada de la secuencia pre-cretácica del macizo de flores (Boyacá, Colombia).....	19
Figura 5 Portal de ingreso a la mina, zona montañosa de la región de Sogamoso	21
Figura 6. Laguna de Tota.....	22
Figura 7 Río Chicamocha	23
Figura 8 Geología del Yacimiento.....	26
Figura 9. División de bloques mina el Uvo	27
Figura 10. Visualización de vetas de hierro.....	28
Figura 11. Modelo de bloques mina “el Uvo”	29
Figura 12 vista N - S 3D Reserva de bloques	29
Figura 13 Área de estudio.....	30
Figura 14 Presentación del explosivo Anfo	33
Figura 15 Presentación del Indugel plus pm.....	34
Figura 16 Presentación del EMULIND-E.....	35
Figura 17 Presentación del Cordón Detonante	35
Figura 18 Detonador Exel TM MS - J	36
Figura 19 Fortificación minera	38
Figura 20 Enmallado sintético de alta resistencia de techos.....	38
Figura 21 Superficie irregular.....	39
Figura 22 Ventilador auxiliar.....	40
Figura 23 Banda transportadora.....	41
Figura 24 Cargador de material	41
Figura 25 Tolva para transporte de material, y retiro de residuos	41
Figura 26 Toma atmosférica - inspección de gases explosivos	42
Figura 27 Listado de ingreso a la mina - con previa aprobación	44
Figura 28 Prueba de alcoholemia.....	45
Figura 29 Salón de charlas y divulgación de avance operación.	45
Figura 30 Verificación y Uso de epp’s	46
Figura 31 Examen de ingreso	47
Figura 32 Acta de compromiso.....	48
Figura 33 Bus de transporte del personal.....	49
Figura 34 Vista en planta de las instalaciones del subpolvorin	50
Figura 35 Subpolvorin de la mina el Uvo.....	51
Figura 36 Polvorin central mina el Uvo.....	52
Figura 37. Esquema de sección transversal de un túnel.....	55
Figura 38 Visita a la mina del Uvo	58
Figura 39 Método de explotación por cámaras y pilares	59
Figura 40 Método de explotación de tambores paralelos	60
Figura 41. Modelo de explotación actual.....	61
Figura 42. Perforación manual de un frente.....	63

Figura 43. Pendiente de las vías.....	64
Figura 44 Frente de perforación con triángulo de estéril.....	65
Figura 45 Dimensiones bajada central.....	67
Figura 46 Dimensiones vías.....	68
Figura 47 Dimensiones de las cámaras perforación con jumbo	69
Figura 48 Dimensiones de las cámaras perforación manual.....	69
Figura 49 Longitud de los barrenos para el esquema con cuña en "v"	72
Figura 50 Vista en planta de la inclinación de los barrenos	80
Figura 51 Longitud de retacado	81
Figura 52 Esquema perforación manual	87
Figura 53 Esquema jumbo	87
Figura 54 Perforación manual.....	88
Figura 55 Perforación con jumbo.	88
Figura 56 Retacado de los barrenos.....	90
Figura 57 Proyección de la carga en el frente.....	91
Figura 58 Proyección de la carga en el frente.....	92

Introducción

Planteamiento del problema

Bajo este contexto, se plantea el siguiente problema.

Se halla un gran vacío documental y desconocimiento académico en relación a trabajos sobre los procesos de explotación de mineral de hierro con voladura subterránea, la trazabilidad de las metodologías utilizadas, y el uso apropiado de los explosivos, lo cual ha llevado a repetir errores donde en algunas ocasiones podría ser a costos económicos y de vidas humanas, y en otros casos daños físicos y ambientales, todo a razón de que se tiene un amplio desconocimiento de la efectividad de la metodología de explotación utilizada, sistemas de seguridad y uso efectivo de los explosivos, para así lograr una metodología eficiente de voladura apropiada, para un buen provecho de las betas de hierro halladas en la geotecnia del lugar, donde se logre tener una explotación y extracción del material de una forma apropiada.

De acuerdo con esta situación, el interrogante principal del proyecto propuesto se define como:

¿Cuál es el proceso de explotación del mineral de hierro en la mina del Uvo, con el uso de explosivos?

Antecedentes

Los inicios de la minería, son hechos impulsados a razón de las necesidades del ser humano, en relación a su tecnología que tenían a su alcance en su momento, con respecto a la evolución del mismo, siendo así que este inicio en la edad de piedra, debido a que sus evidencias más antiguas están dadas en la cuenca del río Omo, dato que es corroborado por la evidencia de utensilios de piedra (Armengot, Espí y Vázquez, 2004).

La minería en Colombia, es una actividad que se ha llevada a cabo desde el siglo XVI, surgiendo en 1500 en Antioquia, donde su fin principal era recoger oro, plata y perlas; las minas más ricas de aluvión y veta fueron en “*Cali y Popayán en 1536, Anserma 1539, Cartago 1540 y Antioquia 1541, Pamplona en 1549, Mariquita e Ibagué en 1551, San Juan de los Llanos en 1558, Remedios en 1560, Caracoles en 1576 y Zaragoza en 1581*” (Gutiérrez, 2010).

En lo que respecta a investigaciones hechas con anterioridad relacionadas con la mina del Uvo, se encontró un hallazgo de cuatro investigaciones, donde en cada una de ellas llevaron a cabo un diferente enfoque, punto y fuente de investigación.

El primero y nada complementario en lo que respecta a las voladuras, fue desarrollado por estudiantes de especialización en Gerencia de Producción y operaciones, en el año 2012 de la universidad de la sabana, donde el tema que abordaron en su trabajo fue “*propuesta de implementación del sistema integral de gestión para la*

estandarización, control y seguimiento en el proceso productivo de trituración de mineral de hierro en paz del rio – votorantim siderurgia”, trabajo desarrollado por Elieth Arismendy Peña, David Berrio Clavijo y Paola Morales Quiroga; donde hacen un estudio exhaustivo del sistema de producción de hierro, llevando a cabo inicialmente un estudio del proceso de alto horno, donde evalúan principalmente el éxito de las proyecciones financieras, y el avance en la producción, detallando la incrementación dada en la productividad de la planta, mejoras de calidad del producto y su respectiva reducción en la trituración de mineral Ubalá es PDR.

El segundo fue desarrollado por estudiantes de ingeniería de minas, en el año 1993 por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-Seccional Sogamoso – Ingeniería de Minas - UPTC, donde el tema que abordaron en su trabajo fue “Aplicación de voladura de contorno bajo tierra mina de hierro el Uvo, Acerías Paz del Río, S.A.”, trabajo desarrollado por la Ingeniera Torres B. Sandra Patricia; el cual plasmaron, y tienen como principal objetivo implementar el uso de explosivos en la mina del Uvo, donde se elaboró un esquema de perforación y voladura para llevar a cabo únicamente la explotación del contorno.

El tercero fue desarrollado por estudiantes de especialización tecnológica en explosivos – cohorte VII, en el año 2016 para la escuela de ingenieros militares – centro de investigaciones resumen analítico ejecutivo - RAE, donde el tema que abordaron en su trabajo fue “Optimización de la producción de mineral de hierro en la mina el Uvo con la utilización de explosivos”, trabajo desarrollado por Matías Patiño y Yohn Eduardo

Cardenas Goyeneche; el cual plasmaron, y tienen como principal objetivo optimizar el mineral de hierro en la mina del Uvo, donde a través de estudios y evaluación de la trazabilidad, se fue elaborado un nuevo esquema de perforación y voladura diseñado, con el fin de tener mejoras en los avances y producción de la explotación de hierro, y a razón de esto logrando mejoras en los ahorros de costos de toneladas extraídas por metro cubico volado, y en el consumo específico de explosivos Kg/m³.

Según la investigación elaborada en este proyecto, se concluyó en tres puntos:

- *El esquema de perforación y voladura propuesto genera un aumento en la producción del 14%, y una reducción de pérdidas de 28.5 toneladas equivalentes a \$1.909.500.*
- *Con el diseño del esquema N°6 de perforación y voladura de logro mayor productividad, obteniendo un rendimiento real de 1.8 toneladas por cada kilogramo de explosivo.*
- *Al controlar debidamente los tiempos de retardo y la secuencia de encendido en la voladura, se obtendrá mayor efectividad en el radio de acción del explosivo con un correcto desplazamiento y proyección del material, menos afectación al macizo rocoso y control de vibraciones.*

(Patiño y Cárdenas 2016)

Por último es importante resaltar que también existen estudios generales, liderados por entidades las cuales están a cargo del mismo sector como lo es Cámara asomineros de la ANDI , en donde se enfocan directamente al impacto de la minería sobre otras

variables, como lo es el potencial mineral bajo las mejores prácticas, donde no se presente la necesidad de modificar ni en lo más mínimo la percepción acorde a él gran potencial geológico-minero con el que se cuenta en Colombia, superando los cuello botella señalados en su aplicación política abarcados en la ejecución de su labor cotidiana, como lo es la investigación que se llevó a cabo por la fundación para la educación superior y el desarrollo, la cual es llamada *“la minería en Colombia: impacto socioeconómico y fiscal”* (Rubiano, Rozo y Becerra 2008).

Una publicación importante, que se llevó a cabo en la revista Ingeniería de Construcción vol. 22 N° 2, el cual fortalece y da una clara descripción de la teoría del impacto de un método de explotación deficiente es el *“análisis y evaluación de riesgo de túneles carreteros en explotación”* el cual fue elaborado por la universidad de granada, Granada, España, en el cual estudian la accidentalidad ocurrida en los últimos años, la cual se volvió una prioridad política de transportes a nivel internacional, la seguridad en la explotación de túneles. Circunstancia que contrajo en la prioridad de analizar y evaluar los riesgos presentes en los túneles, que por sus particulares características así lo exigen. En el transcurso de su investigación, analizaron el marco conceptual del riesgo en ingeniería, así como también las principales opciones metodológicas existentes para el análisis en túneles en explotación, determinista y probabilísticas. Finalmente se concluyó *“es la utilización generalizada de las primeras completadas con un estudio determinístico centrado en aquellos casos cuyas consecuencias presentan unas mayores pérdidas en términos absolutos para la sociedad”* (Martínez, Del Cerro, Alegre y Ordoñez 2007).

Teniendo presente todos los antecedentes anteriormente manifestados, del avance económico, y los respectivos estudios elaborados explícitamente en el área de estudio, podemos dar una mayor cobertura y complemento que amerita un enfoque en los métodos usados, para conocimiento de los futuros ingenieros.

Justificación

Es importante que los ingenieros conozcan de estos temas, el conocimiento sobre la utilización de explosivos en la ingeniería tanto civil como militar, se ha obtenido de manera teórica y experimental por medio de trabajos e investigaciones realizadas en el exterior, y su aplicación en el país ha sido generalmente ensayo y error, el empleo correcto de los explosivos a nivel civil, ha generado ventajas económicas, técnicas, científicas y de seguridad, que optimizaran la aplicación de procedimientos en el desarrollo de todos los proyectos de ingeniería civil y militar.

En vista que el área de explosivos no posee amplia información confiable y académica en el país, y las respectivas investigaciones han sido elaboradas por universidades como la ESING, Universidad Militar Nueva Granada y La Universidad Nacional, se logra detectar el vacío documental de tal manera que esta investigación logre establecer ventajas, desventajas, errores y soluciones que sirvan como guía documental para futuras construcciones e investigaciones acerca del tema.

Es evidente que parte de la gran falencia para el uso de los explosivos está en la parte documental, es ideal modelar, analizar y determinar por medio de registros y datos experimentales, cuales son métodos de optimización que ayuden a minimizar errores en su ejecución y utilización en la explotación de minas, enfocado en este caso en la mina del Uvo.

Algunos aportes académicos de la línea de estudio son:

- Propender por la investigación científica en el campo de los explosivos.
- Unificar la doctrina en el empleo de los explosivos, tanto en las obras de ingeniería civil como en las obras de ingeniería militar.
- Ofrecer soluciones a partir de errores documentales en la construcción de minas.

Inspeccionar de manera detallada los errores generados en la utilización de explosivos para este tipo de construcciones.

Una de las muestras claras, que causan el no tener la trazabilidad de la explotación de una construcción subterránea, bien sea en minería o en la construcción de túneles, acosta del desconocimiento y escasa documentación, son los retrasos en los proyectos, basados en la escogencia de los métodos de explotación, repercutiendo en demoras en los avances y desfase económico, como lo es en el caso de la construcción del túnel de la línea, donde actualmente hay varias disputas en los tribunales de arbitramento –de Collins contra el Invías - que superan los 500.000 millones de pesos. Según el constructor estas partidas adicionales corresponden a que tuvo que invertir mayores recursos en viaductos y túneles

anexos por efectos de la ola invernal de 2010, donde se pueden hallar mayores detalles en la página de Calarcá, en la sección destinada para el túnel de la línea. Además, se sumaron los costos por el revestimiento del túnel y por las fallas geológicas que aparecieron a medida que avanzaban las obras.

Tal cual lo expresan ingenieros expertos en túneles, de la universidad nacional en su artículo en el periódico Unimedios, donde concluyen su artículo de la siguiente forma:

Haciendo cuentas, y considerando el ofrecimiento del adjudicatario, se encuentra que el plazo de construcción sigue siendo corto y el extraplazo podría llegar a ser hasta del 40%-60%. El extraplazo se reduce si las condiciones geotécnicas resultan mejores a las previstas y no hay problemas por gas ni alta temperatura.

En resumen, la construcción del Túnel Piloto corre con riesgos geológicos importantes y no sería extraño que este proyecto también sea alcanzado por los fantasmas de los sobrecostos, extraplazos y demás complicaciones contractuales que desafortunadamente han perseguido a esta clase de obras. Estos fantasmas se han alimentado y se siguen alimentando de la insuficiencia de estudios. Puesto que la construcción de la obra no se ha iniciado, es bueno y benéfico que se revise el proyecto con el fin de hacer los ajustes del caso para darle más eficiencia, facilitar su construcción y reducir riesgos, buscando que la obra tenga el éxito que el país necesita.

(Correa y Puerto 2006)

Es decir, según las proyecciones de sus constructores, y opiniones de grandes conocedores de este proyecto, lo cual ha sido expresado ante los medios como lo es en este caso la revista semana, en uno de sus artículos de economía, donde el tema principal es el *“futuro del túnel de la línea”* escrito en el 2014, a lo que en el artículo expresan *“el ingeniero Carlos Collins asegura que ha invertido más recursos de los previstos en el túnel de la línea para el revestimiento de la obra y para hacerle frente a los riesgos geológicos tras la ola invernal de 2010”*. El túnel terminará costando más de 1 billón de pesos y no los 629.000 millones de pesos en los que se fijó el proyecto.

Por otro lado, en la revista N° 31, estructura y desarrollo de la cámara de infraestructura, en uno de sus artículos informan respecto la gran proyección de crecimiento en la construcción de más de 63 túneles en Colombia, Según Amberg, cualquier país del mundo puede ejecutar grandes proyectos de infraestructura. La clave está en dimensionar adecuadamente las obras y realizar los estudios técnicos y financieros a tiempo, aclaración que da atreves de la cámara colombiana de infraestructura física, en su revista no. 31 del 2009, sección de infraestructura y desarrollo.

En definitiva los métodos de extracción de mineral, mediante voladura con explosivos, dependen fundamentalmente en primer lugar, del tipo de terreno a intervenir, y a la labor a desarrollar, y de la eficiencia del diseño de la plantilla, junto con las expectativas de los resultados.

Objetivos y alcance

Objetivo General

Indagar sobre el proceso de explotación del mineral de hierro del Uvo, con el uso de los explosivos.

Objetivos Específicos.

- Indagar sobre los procesos de extracción de mineral de hierro en la mina del Uvo.
- Realizar visita técnica, para verificar los procesos que se realizan de acuerdo a los protocolos establecidos en la mina del Uvo.
- Revisar la literatura existente, enfocada a los ciclos de evaluación.
- Documentar las experiencias halladas acerca de los resultados y conclusiones obtenidos de la evaluación de las experiencias dadas de la voladura subterránea.

Resultados esperados

El presente trabajo busca documentar de manera clara y específica la metodología utilizada en la extracción de hierro, en la minería, determinando las metodologías implementadas, especificando los explosivos usados en el desarrollo del proyecto, a lo largo del avance del mismo, hasta lo que están en este momento, contemplando y revisando si se presentan o no cambios en la geotecnia intervenida, y contemplando los rendimientos de estos mismos, acorde al ciclo de avance que se está desarrollando; logrando así un consolidado de experiencias de voladura subterránea para tener una trazabilidad de las mismas.

Alcance

El enfoque del estudio estuvo centrado en la metodología aplicada a la explotación de minas, así como en el estudio de los materiales y voladuras empleadas en sus técnicas.

Se hizo entrega del trabajo de grado, el cual estuvo enfocado a indagar y verificar experiencias en la extracción de hierro con voladura, de acuerdo a sus métodos, explosivos y ciclos de voladuras subterráneas de minas que tendrán como uso extracción de minerales en la mina el Uvo.

El proyecto reconoce cuatro tipos de alcance, los cuales fueron:

Alcance exploratorio. El proyecto contemplo un tema poco estudiado y sus resultados son el punto de partida para estudios cada vez más avanzados.

Alcance descriptivo. El proyecto sirve para establecer las características de un fenómeno, mediante la descripción de su manifestación y comportamiento.

Delimitación

Geográfica

La planta de Acerías Paz del Río S.A. (APDR) está localizada en la población de Belencito en el departamento de Boyacá. Sobre la planicie Cundiboyacence, una meseta sobre la cordillera oriental, latitud $5^{\circ} 46'$ norte y longitud $72^{\circ} 53'$ a 2568 m sobre el nivel del mar. Su temperatura promedio es de 18 grados centígrados a una distancia de 200 km al norte de Bogotá.

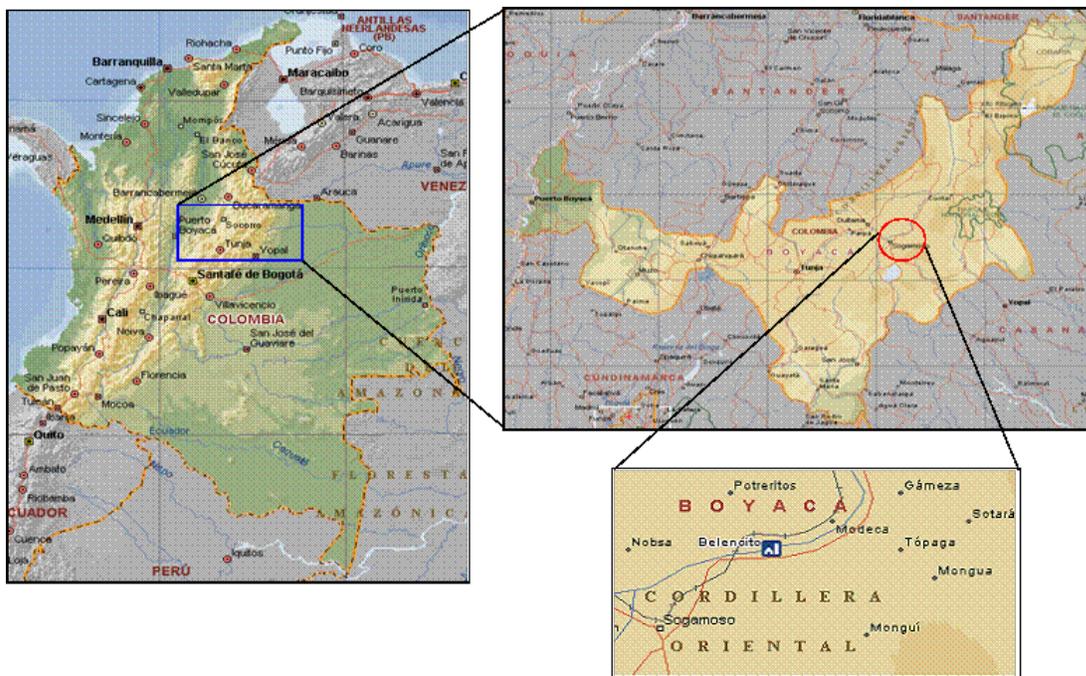


Figura 1 Ubicación geográfica planta Acerías Paz del Río, Boyacá, Colombia

Fuente: SIAME, 2003-proyecto de modernización de la industria siderúrgica integrada.

La mina “el Uvo” se haya localizada a 5 Km aproximadamente del municipio Paz del Río, sobre la misma vía que llega al municipio de Belén y por medio de la carretera central del norte se conecta con Santa Fe de Bogotá, también se puede acceder a la misma por la vía que conduce del municipio de

Sogamoso pasando por los municipios de corrales, tasco y paz del rio con un recorrido aproximado de 70 km en la vereda conocida como el salitre y el nivel de patio está a una altura promedio de 2388 msnm.

Aledaño a la mina también se encuentra el ferrocarril eléctrico paz de rio – Belencito, el cual sigue el cauce del rio Chicamocha y pertenece a acerías paz del rio.

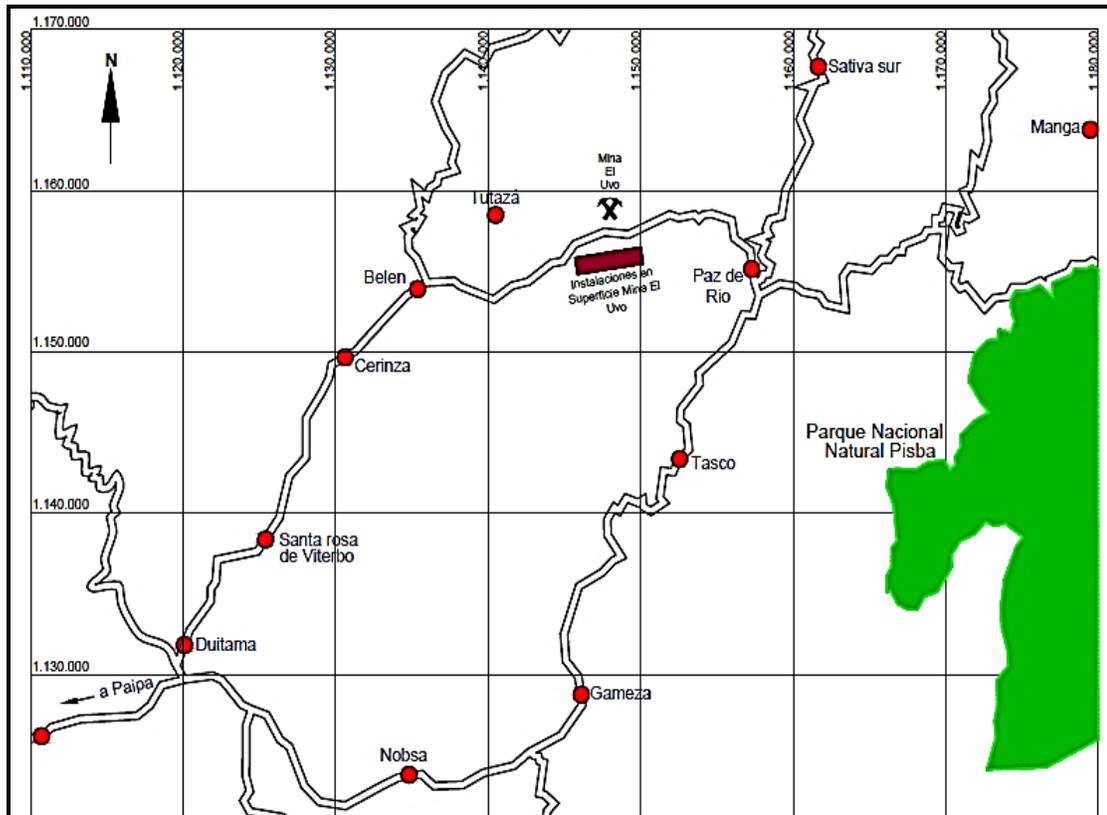


Figura 2 Localización de la mina de hierro “el Uvo”

Fuente: Topografía Minas Paz Del Río



Figura 3 Boca de ingreso a la mina el Uvo

Fuente: Elaboración propia

Metodología

El sistema de obtención de información que se se llevó a cabo, fue a través de la observación, indagación y recopilación de los datos, para documentar el proceso de la extracción de hierro en la mina subterránea el Uvo – Boyacá con voladura.

En desarrollo de la metodología, se siguieron los siguientes pasos:

- Indagación documental y visual, mediante visita técnica a la mina el Uvo, y consultas en el archivo de la mina, bibliográficas e internet.
- Entrevistar el supervisor de la mina de Acerías Paz del Rio, donde se profundice a claridad el método de voladura utilizado para la extracción de hierro en la mina subterránea.
- Documentar los explosivos utilizados, de acuerdo al diseño de voladura.
- Describir el ciclo de voladura utilizado en la mina subterránea.
- Concluir y dar observaciones a los hallazgos encontrados en el ciclo de voladura.

Capítulo 1

Conceptualización y generalidades de excavaciones en túneles

Caracterización de la geotecnia del suelo

En algunos proyectos de ingeniería, según sus características y labores a ejecutar, deben tener un estudio y diseño geotécnico apropiado a la actividad que se va a desarrollar, brindando un factor de seguridad confiable, como lo es en el caso de las obras subterráneas; los métodos constructivos se determinan de la evaluación de impactos económicos, ambientales y técnicos apropiados, donde al finalizar dicha actividad se logren obtener resultados óptimos y efectivos acorde a su necesidad.

Los procesos naturales intervenidos por los factores topográficos, geológicos, climáticos y antrópicos son generados por las condiciones del subsuelo en un terreno dado, exigiendo la identificación, localización y delimitación horizontal y vertical de los suelos y rocas del área de estudio, caracterizando sus condiciones de ocurrencia, a través de muestreo y ensayos de campo y laboratorio, logrando obtener las propiedades geotécnicas de los materiales en el subsuelo.

Principios de la geología

Para el estudio del suelo en Paz del Río, se deben evaluar dos divisiones importantes, como lo son, la geología física, la cual se encarga de estudiar los materiales terrestres y procesos superficiales, y por el otro lado tenemos la geología histórica, la cual

se encarga de examinar el umbral de la tierra, y por consiguiente da su progreso en el transcurso del tiempo.

En la descripción estratigrafía de paz del rio, se halló según un estudio hecho en el 2000, por el ministerio de minas y energía – instituto de investigación en geociencias, minería y química, el cual llevaba como nombre “*mapa geológico del departamento de Boyacá*” que el bloque tota – paz del rio, está localizado al oriente del bloque de Tunja – Duitama, y se encuentra limitado por la falla de Santa María – Lenguapa al SE (suroriente), Guaicáramo al NE (nororiente) y de Soapaga al W (occidente). Constituyendo lo nombrado el cordón magistral de la cordillera oriental y es la zona más ampliamente tectonizada del departamento. Adicionalmente también expresan en su estudio que “*la cobertura sedimentaria la componen rocas del Cretácico, Paleógeno y Neógeno encontrándose vigorosamente plegadas y fracturadas, por fallas normales e inversas de bajo ángulo y poco salto, las cuales no siguen un patrón o direccionamiento específico sino que se encuentran conformando un entramado en varias direcciones*” (Rodríguez y Solano 2000).

La falla de Guaicáramo es una falla inversa, de ángulo bajo, la cual buza hacia el W (Oeste) y coloca en contacto rocas de la formación Caja con rocas del grupo Palmichal.

La falla de Soapaga coloca en contacto rocas sedimentarias replegadas del cretácico, arriba de rocas del paleógeno e incluso del Neógeno.

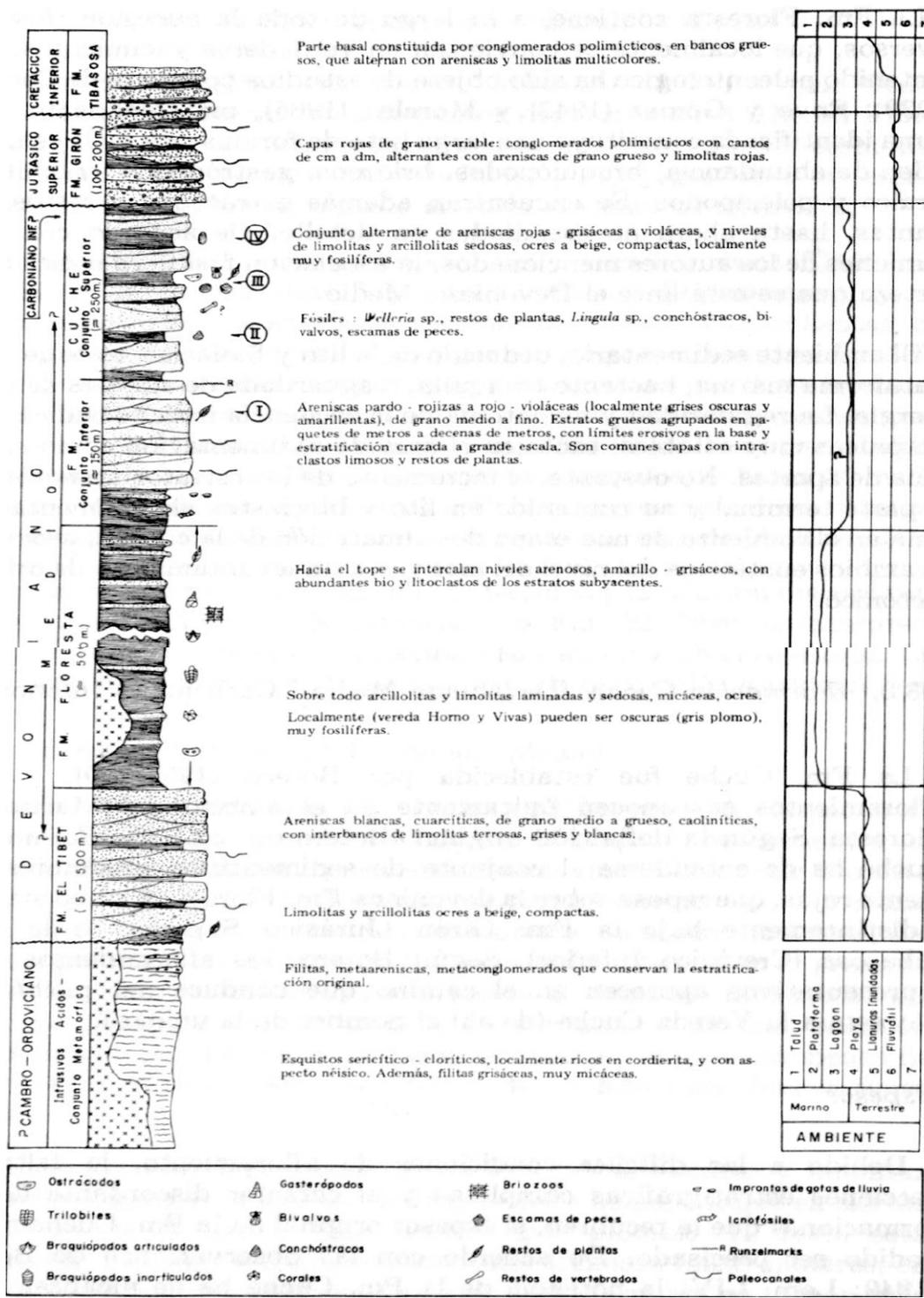


Figura 4. Columna estratigráfica generalizada de la secuencia pre-cretácica del macizo de flores (Boyacá, Colombia)

Fuente: contribución al proyecto No. 211 Paleozoico Superior de América del sur (Mojica y Villarreal 1984) pág. 66

Recursos mineros. Los yacimientos y manifestaciones de hierro son encontrados y manifestaciones de hierro son encontrados principalmente en municipios de Paz de Río, Belencito, Socha, Beteitiva, Sativanorte, Tasco, San Mateo, Tuta, Boavita, Sabanalarga, Jericó, San Eduardo y Villa de Leiva, de los cuales los más importantes son Pas de Río y Belencito, debido a que están siendo explotados desde 1954, y que a su vez están generando materia prima para la siderúrgica de Paz de Río.

En el caso de los recursos de minerales metálicos ferrosos, son hallados en rocas sedimentarias, primeramente areniscas y arcillas, los cuales corresponden a los minerales conocidos como:

Limonita (Fe_2O_3)

Hematita (Fe_2O_3)

Siderita (FeCO_3)

Estas manifestaciones de están asociadas a la formación concentración, específicamente en el terciario superior.

Rasgos fisiográficos

En un estudio fisiográfico, es clave delimitar y consecutivamente reconocer las diferentes características del suelo, junto con sus respectivos atributos generales del modelo de la zona.

Topografía. Paz del Rio presenta una morfología abrupta, con pendientes variables gran número de cañones y áreas escarpadas a lo largo del cauce del rio Chicamocha, son

características muy específicas de ella, en la cual también se hallan alturas que van desde los 2100 a 2450 msnm, conformada especialmente por material areno arcilloso.

Clima y vegetación. El clima de la zona es categórico por altitud, que va desde los 15°C a 18°C, con variaciones acentuadas en el transcurrir del año, presentando corrientes de vientos cálidos y períodos lluviosos que habitualmente corresponden a meses de abril, mayo, octubre y noviembre.



Figura 5 Portal de ingreso a la mina, zona montañosa de la región de Sogamoso

Fuente: Elaboración propia

La vegetación de la zona se caracteriza por arbustos de suelos áridos y bosques madereros con eucaliptos y pinos de uso doméstico; en algunas áreas se presentan pendientes propensas, donde en ocasión también incide la erosión ocasionada por la tala de árboles, aunque también es posible visualizar algunos pastizales provechosos para el

alimento de la ganadería y producción de subproductos alimenticios de porcinos, y en otros caso se detectan zonas de cultivo, principalmente de maíz, papa, trigo y arveja, el cual es principalmente consumido por los habitantes de la región, y también sirve de desarrollo del municipio.

Hidrografía. La zona tiene un drenaje conformado por arroyuelos intermitentes que en su mayoría del tiempo están secos, a excepción del invierno, que son épocas donde sus caudales aumentan.



Figura 6. Laguna de Tota

Fuente. Gobernación de Boyacá

En la región de Paz del río se destacan los ríos de Chicamocha, y Soapaga, los cuales bañan la región, y también incluimos en la lista el lago de Tota, el cual abastece acueductos de municipios circundantes, y también a la siderúrgica de Paz del Río.



Figura 7 Rio Chicamocha

Fuente: Elaboración propia

Geología del área de estudio

Esta caracterización está dada por Reyes, en su estudio realizado, el cual llama “*geología del yacimiento y variabilidad de las características geo mecánicas del mineral de hierro en la región paz vieja*”:

Geología regional. El yacimiento que surte el mineral de hierro en Acerías Paz del Río, presenta una gran extensión, que va desde la región de Paz del Río, prolongándose hasta

Sativa Sur, la cual está limitada por la falla de Soapaga por los afloramientos de las formaciones sedimentarias; Soacha Superior e Inferior, Picacho, Concentración Superior y Depósitos Cuaternarios.

Geología local. Está representada por una serie sedimentaria de rocas en su generalidad areniscas, la cual varía a lo largo de la zona de estudio, haciendo parte de las formaciones: Picacho, Concentración Inferior y superior, y Depósitos Cuaternarios.

Geología del yacimiento. El depósito de mineral de hierro de la región de Paz de Rio – Sativa Sur, se encuentra ubicado adentro de la formación Concentración Inferior, de edad Eoceno medio cuya base está personalizada por una arenisca gris de grano fino, de 1 a 2 metros de espesor y definido estratigráficamente de acuerdo a las numerosas perforaciones realizadas por parte de la empresa Acerías Paz de Rio.

Las rocas de los respaldos las constituyen arcillitas verdosas a negruzcas, con pequeñas intercalaciones de arenisca finas con algunos rastros carbonosos de vegetales. Presenta un espesor de 170 m desde su base, es decir de la formación Picacho hasta el banco del mineral de hierro con espesores que varían de 3 a 8 m y sobre este 100m de arcillolitas grises.

Características geotécnicas de área de estudio

Acorde a la visita que se efectuó, y a la recolección de datos donde se logró el acceso al archivo de acerías Paz del rio, directamente a la evaluación geo-mecánica de hierro el Uvo 2002, se hallaron los datos que deben estar al alcance de la operación en toda actividad de minería que se esté realizando intervención a una zona de la corteza terrestre, debido a que se debe contemplar la afectación que ha sufrido, conforme a la intervención con estructuras geológicas, como lo son las fallas, diaclasas y pliegues, adicionalmente por la intervención de la misma, es posible que se presente un cambio en la forma del banco de mineral de hierro y que para el desarrollo continuo y adecuado de la explotación generan situaciones que obligan a realizasen cambios en los diseños establecidos.

La geología del yacimiento posee las siguientes características:

- El mineral de hierro de PAZ DEL Rio se presenta como un banco o cuerpo tabular.
- El espesor de capa es de 3 a 9 metros.
- La continuidad de aproximación es de 17 km.
- El yacimiento de mineral de hierro presenta una uniformidad estructural buena para su explotación bajo tierra, la cual se ha dividido en bloques delimitados por fallas; estos bloques son: Sibaría, el Salitre, Buenos Aires, Paz Vieja Pirgua.

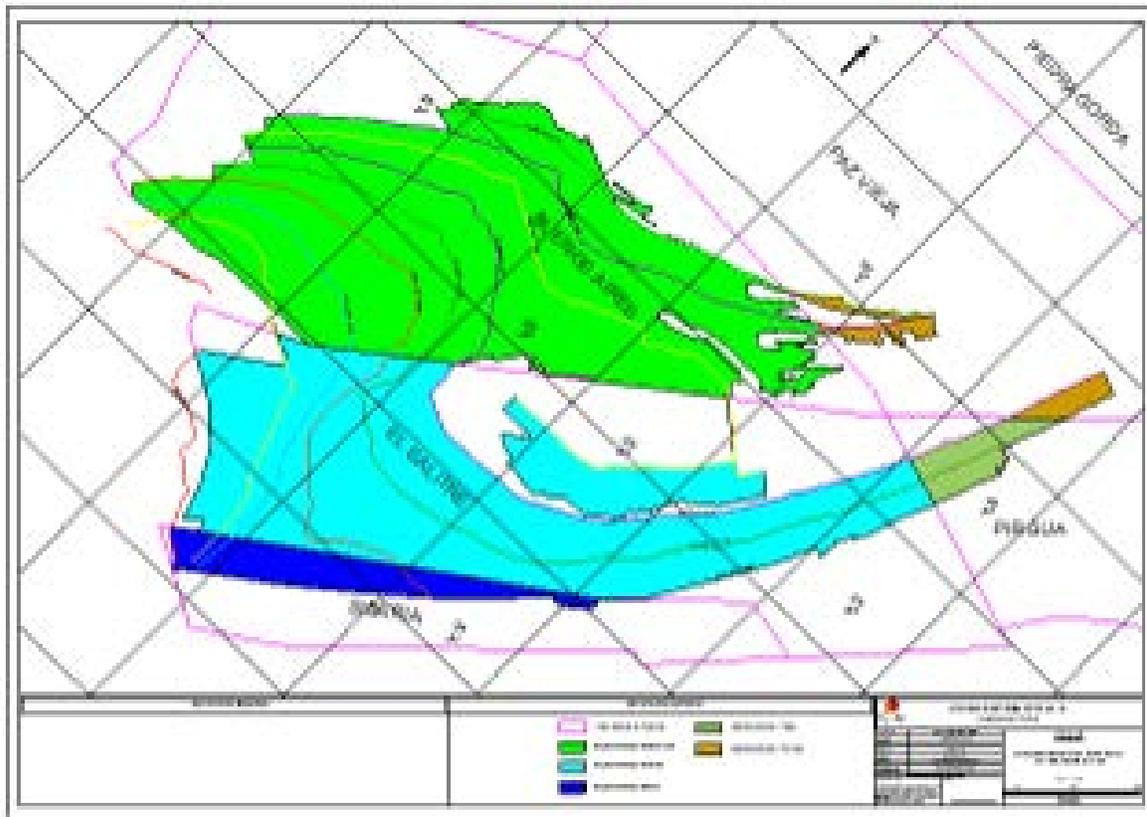


Figura 8 Geología del Yacimiento

Fuente. Archivo mina de hierro “el Uvo”

Características geotécnicas de área de estudio

De acuerdo al polígono del contrato 006-85M, la exploración para mineral de hierro se concentró en los municipios de tasco, Betéitiva, Paz de Rio, Sativa Sur y Sativa Norte.

La exploración se realizó principalmente por medio de apiques y perforaciones verticales con recuperación de testigos; de acuerdo a la tectónica imperante, la zona se subdividió en bloques de la siguiente manera:

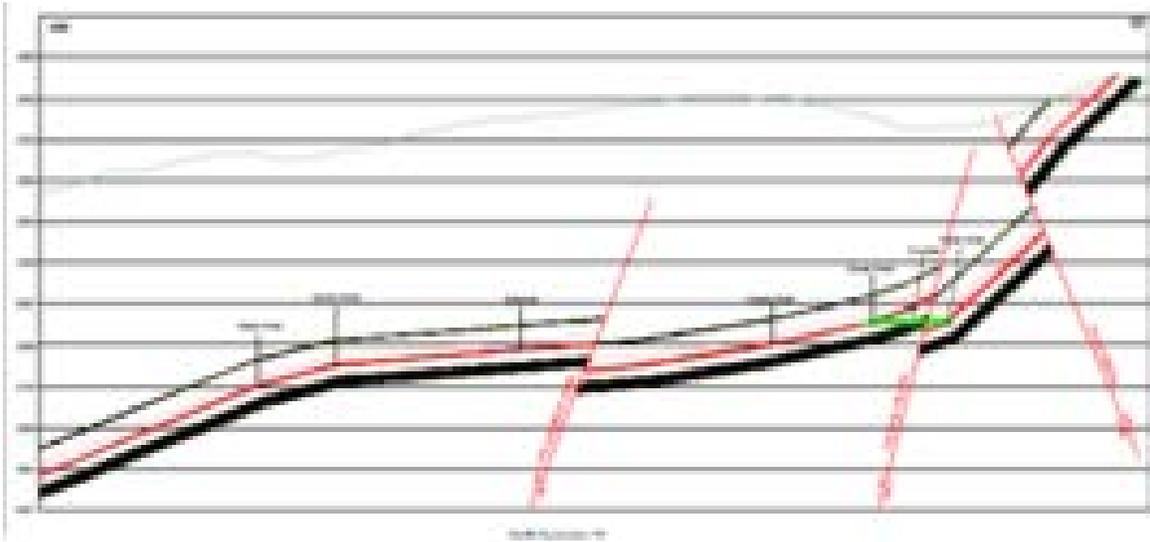


Figura 9. División de bloques mina el Uvo

Fuente. Archivo mina de hierro “el Uvo”

Tabla 1 - División de bloque mina de hierro el Uvo

Fuente: Elaboración propia

BLOQUES	No. POZOS	MUNICIPIO
Buenos Aires	30	Paz del Rio
Salitre	35	Paz del Rio
Sibaría	14	Paz del Rio
el Uvo	04	Paz del Rio
Paz Vieja	08	Paz del Rio
Piedra Gorda	08	Paz del Rio – Saliva Sur

Unas de las medidas que se evalúan en los frentes de trabajo de la mina de hierro el Uvo son:

Resistencia de la roca. El comportamiento mecánico de las rocas está definido por su resistencia y su deformabilidad, la resistencia al corte de las discontinuidades es el aspecto más significativo en la determinación de la resistencia de los macizos rocosos, para el caso de la mina de hierro “el Uvo” se tiene una estimación de MEDIA (se rompe con más de tres golpes del martillo) según los criterios de Bieniawski, 1989.



Figura 10. Visualización de vetas de hierro.

Fuente: Elaboración propia

Numero de fracturas. Dentro del número de fracturas que se tiene en la mina se manejan una clasificación de moderadamente fracturado (6 a 12 fracturas por metro lineal).

Condiciones de las discontinuidades. Dentro de la clasificación de las condiciones de las discontinuidades que se tiene en cuanto a los parámetros para evaluar geotécnicamente los frentes de trabajo se tiene una clasificación media (ligeramente abierta, moderadamente rugosa).

Fallas. Dentro de las fallas más importantes que se deben tener en cuenta en la explotación de la mina se tiene la falla salitre, la falla buenos aires, estas son las estructuras que se deben de tener en cuenta al momento de realizar la explotación ver figura 11.

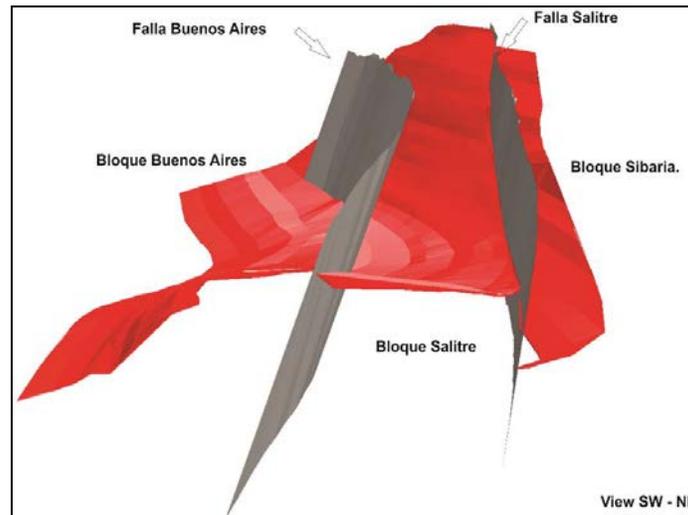


Figura 11. Modelo de bloques mina “el Uvo”

Fuente. Archivo mina de hierro el Uvo

Reservas modelo de bloques. Este modelo calculo recursos de 12.926.925 toneladas de mineral, para los niveles 8 y 9 de la mina el Uvo, con un porcentaje de recuperación del 50% por explotación con cámaras y pilares. Las reservas explotables ascienden a 6.463.000 toneladas.

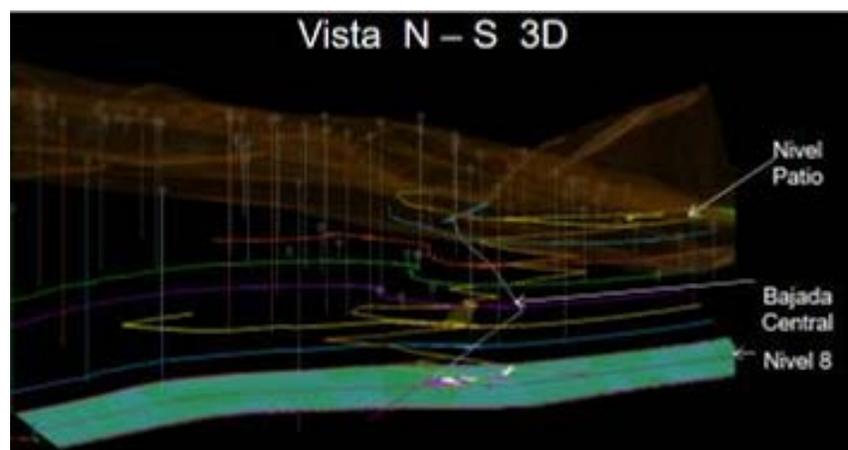


Figura 12 vista N - S 3D Reserva de bloques

Fuente. Archivo mina de hierro “el Uvo”

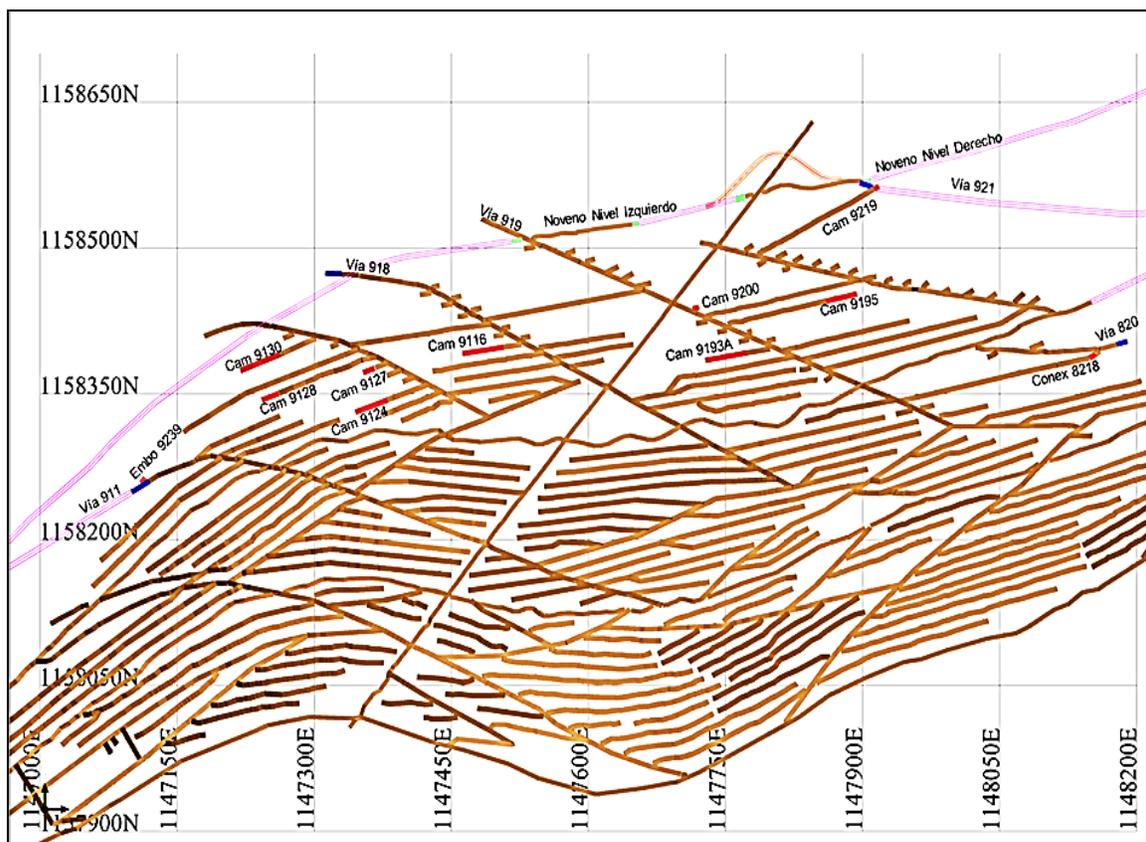


Figura 13 Área de estudio

Fuente. Archivo mina de hierro “el Uvo”

Capítulo 2

Seguridad en obras subterráneas

Análisis de la seguridad y transporte de los explosivos

El transporte, manipulación y uso de las sustancias explosivas que se consumen en la mina de hierro “el Uvo”, se realiza teniendo en cuenta cada uno de los criterios señalados por el Decreto 1886 de 2015 (reglamento para labores subterráneas) y los patrones operacionales que son diseñados por la empresa para uso interno, donde se establecen las directrices para garantizar el manejo adecuado y seguro de los explosivos utilizados en la explotación de mineral.

En la mina los agentes que utilizan en las voladuras son (Anfo, Indugel,) y los medios de ignición (Cordón Detonante, Fulminante común # 8, mecha de seguridad, Nonel) que son almacenados en el polvorín de la mina, que está diseñado bajo la normatividad del decreto 1335 de 1987, y que se ajustan al actual reglamento de seguridad para labores minera bajo tierra 1886 de 2015.

En el desarrollo de este proyecto se logra evidenciar el manejo de los explosivos desde que salen del polvorín de almacenamiento del batallón hasta llegar a los frentes donde se realiza la voladura. Y se realizan la siguiente actividad de mejora en el transcurso de la misma.

Logística, manejo y despacho de los explosivos usados en la mina el Uvo

A continuación, se da a conocer los parámetros que se deben destacar en cuanto al manejo interno que se tiene para explosivos en la mina de hierro “el Uvo”.

- El encargado de hacer entrega de los esquemas a los cuadrilleros es el supervisor de minería.
- Se hace una publicación actualizada de los esquemas en la cartelera del subpolvorin.
- Se diligencian diariamente vales de consumo de material explosivo según lo dispuesto en los esquemas de perforación de cada frente, esto ayuda a realizar un mayor control del explosivo y así evitar pérdidas.
- Solo está autorizado el despachador de explosivos para hacer ingreso al subpolvorin y hacer entrega de los mismos a los cuadrilleros.
- El cuadrillero de cada frente será la única persona que puede solicitar el explosivo en ventanilla del subpolvorin, al igual que es el encargado del manejo del explosivo hasta que se realiza la quema
- El almacenamiento del explosivo cuando llega a los frentes se hace en caja dispuestas cerca al frente, para evitar que sea golpeado o afectado por el agua hasta que se realiza el cargue de los frentes.

Cuando se procede a cargar un frente solo están autorizados el cuadrillero, ayudantes y el supervisor a cargo, el paso está restringido para el resto de personal (solo podrán pasar el personal que esté autorizado por el coordinador de la mina, que presente su debido permiso firmado.)

Agentes de Voladura utilizados en la mina

Los explosivos que se usan son:

Anfo. Es un explosivo de orden terciario, constituido por NAFOS, la cual es una mezcla de nitrato de amonio/fuelóleo y un combustible procedente del petróleo, que se obtiene desde gasolina hasta aceite de motor, estas mezclas son muy seguras, económicas y de factible adquisición.



Figura 14 Presentación del explosivo Anfo

Fuente. Ficha técnica de INDUMIL

Tabla 2 Características técnicas del ANFO

Fuente. Ficha técnica de INDUMIL

Físicas	
Densidad	0,85 ± 0,05 g/cm ³
Resistencia a la humedad	Ninguna
Diámetro Crítico	75mm
Balísticas	
Velocidad de detonación (*)	3.000 ± 300 m/s
Potencia absoluta en volumen ABS (Teórico)	757 cal/cm ³
Potencia absoluta en peso AWS (Teórico)	890 cal/g
(*) Medido en tubo de PVC de 43" iniciado con multiplicador Pentofex de 337,5g	

Indugel. Es un hidrogel, compuesto por una solución acuosa saturada de NA, con una sensibilidad al detonador, pero al roce y al impacto es baja.



Figura 15 Presentación del Indugel plus pm

Fuente. Ficha técnica de INDUMIL

Tabla 3 Características técnicas del INDUGEL PLUS PM

Fuente. Ficha técnica de INDUMIL

Físicas	
Densidad del encartuchado	1,17 ± 0,03 g/cm ³
Resistencia a la humedad	Excelente
Diámetro Crítico	29mm
Balísticas	
Velocidad de detonación (*)	4.500 ± 500 m/s
Potencia relativa en volumen RBS	1,25
(*) Medido al aire sin confinar	(Diámetro 32mm)

Emulsiones. son denominadas de agua en aceite, en una fase acuosa dispersa formada por pequeñas gotas de disolución de NH₄NO₃ o de NaNO₃ en agua, que están rodeadas de una fina película de 10-4 mm de aceite mineral (fase continua), este explosivo anteriormente se usaba, pero es demasiado costoso y por esta razón se debió prescindir de su uso.



Figura 16 Presentación del EMULIND-E

Fuente. Ficha técnica de INDUMIL

Tabla 4 Características técnicas del EMULIND-E (Emulsión Encartuchada)

Fuente. Ficha técnica de INDUMIL

Físicas	
Densidad encartuchado	1,16 ± 0,06 g/cm ³
Resistencia a la humedad	Excelente
Diámetro Crítico	29mm
Balísticas	
Velocidad de detonación (*)	4.600 ± 600 m/s
Potencia relativa en peso RWS	1,44
(*) Medido al aire sin confinar	

Cordón detonante. Es un cordón flexible con un recubrimiento impermeable de PVC, alma de pentrita y su cantidad varía según su tipo, que va desde 3gr/m.



Figura 17 Presentación del Cordón Detonante

Fuente. Ficha técnica de INDUMIL

Tabla 5 Características técnicas del Cordón detonate

Fuente. Ficha técnica de INDUMIL

Presentación	3, 6, 12 y 38 g/m
Físicas	
Impermeabilidad a la presión hidrostática 3kgf/cm ²	Excelente (Máximo 1% ganancia de agua)
Balísticas	
Velocidad de detonación	7.000 ± 300 m/s
Resistencia a la tensión	70 kgf (3, 6 y 12 g/m) y 90 kgf (38g/m)

Detonador Excel #8. son denominadas de agua en aceite, en una fase acuosa dispersa formada por pequeñas gotas de disolución de NH₄NO₃ o de NaNO₃ en agua, que están rodeadas de una fina película de 10-4 mm de aceite mineral (fase continua), este explosivo anteriormente se usaba, pero es demasiado costoso y por esta razón se debió prescindir de su uso.



Figura 18 Detonador Exel TM MS - J

Fuente. Ficha técnica de INDUMIL

Tabla 6 Características Técnicas de Detonadores

Fuente. Ficha técnica de INDUMIL

Periodo	Tiempo Nominal (ms)	Color de la etiqueta	Periodo	Tiempo Nominal (ms)	Color de la etiqueta
0	0	Rosado	12	400	Azul
1	25	Rojo	13	450	Naranja
2	50	Beige	14	500	Morado
3	75	Verde	15	600	Gris
4	100	Azul	16	700	Azul
5	125	Naranja	17	800	Rojo
6	150	Morado	18	900	Beige
7	175	Gris	19	1000	Verde
8	200	Azul	20	1100	Azul
9	250	Rojo	21	1200	Naranja
10	300	Beige	22	1300	Morado
11	350	Verde	23	1400	Gris

Controles de seguridad en la explotación subterránea

En las labores de minería, el personal se ve sometido a una gran variedad de riesgos, los cuales atentan contra su salud y seguridad de manera latente, por eso dependiendo del riesgo, y los cambios presentados con respecto a la superficie, se deben llevar a cabo una serie de controles así:

Desprendimiento de roca. Para control de este riesgo, se debe principalmente verificar constantemente el frente, y esto siempre se hace antes de iniciar la actividad, y seguido a esto se hacen sondeos y desabombe respectivos y seguido a esto se entibie y/o fortifique los espacios de difícil desabombe, la fortificación corresponde a la instalación de un perno Split set.



Figura 19 Fortificación minera

Fuente: Elaboración propia

Derrumbes. Es un cordón flexible con un recubrimiento impermeable de PVC, alma de pentrita y su cantidad varía según su tipo, que va desde 3gr/m.



Figura 20 Enmallado sintético de alta resistencia de techos

Fuente: Elaboración propia

Piso irregular. En vista de que los niveles de agua en ocasiones superan los 30 cm, se debe mantener constantemente un desnivel que en rute las aguas a la canaleta de drenaje, y seguido a esto, se drena a la superficie exterior de la mina.



Figura 21 Superficie irregular

Fuente: Elaboración propia

Manipulación de sustancias químicas. Para esta actividad al personal se le lleva a cabo un examen periódico, y el uso constante de epp's, de más se recomienda informar cualquier anomalía presentada de forma inmediata y de más estos elementos los manipulará única y exclusivamente el personal autorizado, del cual se llevará un riguroso control.

Explosión. Al efectuar la voladura se dará cierre de las vías, y adicionalmente se evacuará todo el personal que no esté directamente implicado con dicha actividad, y al finalizar la instalación de los explosivos, los operarios también saldrán del área de trabajo, antes de llevar a cabo la detonación, con el fin de tener tiempo de ubicarse en un lugar seguro fuera de la mina, y en el siguiente turno continuar con la operación.

Presencia de humos. Es un hecho que después de cada detonación se presenten humos debido a la quema del mismo, por esta misma razón se instalan extractores alrededor de toda mina, con el fin de purgar y extraer de los espacios toda presencia de estos, inyectar oxígeno en abundancia y adicional mente ayuda a equilibrar las temperaturas, ya que por

el nivel estratigráfico en el que se encuentran, se presentan altas temperaturas, debido a su ambiente estéril y compresión este es escaso.



Figura 22 Ventilador auxiliar

Fuente: Elaboración propia

Presencia de material particulado. Este es producto de todos los residuos de la actividad ejecutada, y está dividido en dos clases, uno es el de la producción, el cual es llevado al exterior de la mina por bandas transportadoras, y para que este llegue allí, se moviliza con volquetas y excavadoras modificadas acorde al espacio de la mina.



Figura 23 Banda transportadora

Fuente: Elaboración propia



Figura 24 Cargador de material

Fuente: Elaboración propia

El otro son producto de los residuos y partículas aún más pequeñas que las de la producción, que las podemos caracterizar como el desperdicio de la operación, y este es movilizado en tolvas, ya que por la acumulación de este, se facilita su recolección.



Figura 25 Tolva para transporte de material, y retiro de residuos

Fuente: Elaboración propia

Presencia de vapores y gases. En toda actividad subterránea, siempre se corre el riesgo de hallar gases peligrosos, o que los vapores se queden en su atmosfera, por esta razón antes de iniciar la operación, y periódicamente se toman los datos del estado del espacio confinado, donde debe quedar documentada en un espacio visible.

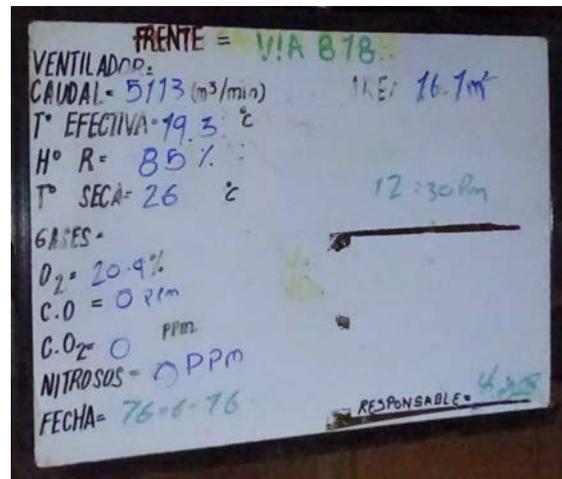
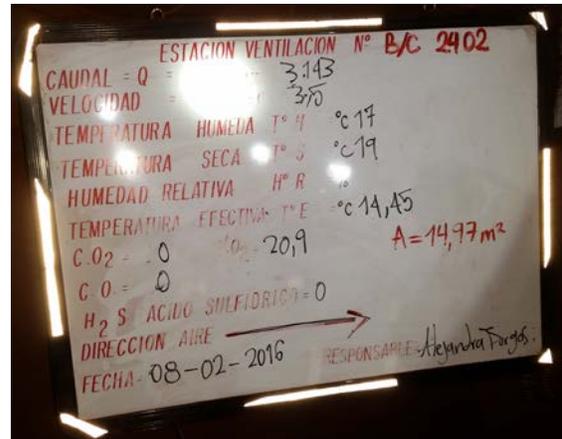


Figura 26 Toma atmosférica - inspección de gases explosivos

Fuente: Elaboración propia

Normas de seguridad y Sistema de Ingreso a la Mina el Uvo

Teniendo en cuenta que los ingresos y salidas de la mina deben ser notificados con anticipación, y controlados con un riguroso control seguridad, debido a las condiciones ambientales y físicas de la mina, el personal que no esté notificado con respecto a su turno según sea el caso, debe tener aprobación de un permiso suministrado por el coordinador, el cual es la misma persona que autoriza o rechaza el ingreso de personal ajeno a las actividades cotidianas de la mina, y este también liderara bien sea el o a uno de sus supervisores del equipo, idóneos en asesorar de manera apropiada y correcta al personal ajeno a las actividades cotidianas de la mina y que su trayecto sea acorde a la necesidad que se determine en su tiempo en la mina, esto debido a que no solo es importante la producción, sino que también es fundamental velar por la seguridad del personal, durante su estadía en la mina.

Según todo lo anterior, antes, durante y después del trayecto, se maneja el siguiente cordón de seguridad:

Solicitud de ingreso. Este se debe hacer mediante un medio escrito, dirigido al supervisor de la mina, y de igual forma será dada la respuesta.

Ingreso. Es importante presentarse en la portería con los documentos de identidad, eps y seguridad social, por cualquier eventualidad, y por previo reconocimiento del personal.

Anexo: lista de asistentes

ESCUELA DE INGENIEROS MILITARES
EJERCITO NACIONAL
EDUCACION SUPERIOR

HORARIO DE CLASES
ESPECIALIZACION TECNOLOGICA
EN EXPLOSIVOS

LISTADO ESTUDIANTES PARA LA PRÁCTICA A LA MINA EL UVO - JUNIO 17 de 2016

ESPECIALIZACION TECNOLOGICA EN EXPLOSIVOS - COHORTE 9

No.	PRIMER APELLIDO	DOCUMENTO	FIRMAS
1	BONILLA LÓPEZ DIEGO ALEJANDRO	93.411.291	
2	COLLAZOS CASAS JULIETH TATIANA	1.075.675.781	
3	ERAZO CAICEDO JAIR	94.330.768	
4	MARINO MARULANDA KAREN SUSANA	1.030.562.222	
5	MEJIA AMADO MOISES	91.326.604	
6	MENESES MELO EVER DARIO	93.239.697	
7	MONTOYA SANDOVAL MANUEL FERNAND	1.143.934.124	
8	NARANJO AVENDAÑO SANTIAGO	79.489.663	
9	NARVAEZ LUIS FERNANDO	7.701.180	
10	OCHOA VALENCIA EMERSON OLVERY	15.514.362	
11	ORTIZ ROJAS JOSE MARIA	1.010.181.333	
12	RIVERA VARÓN FELIPE ANDRÉS	1.106.890.097	
13	TELLEZ COMBITA OLGA GENIHT	1.075.667.399	
14	VALLEJO MORA CARLOS ANTONIO	86.086.424	
15	Director a cargo: Hermes Mauricio Alvarado Sáchica - CC. 79.496.799		
TOTAL ASISTENTES		15	

Mayor (RA) HERMES MAURICIO ALVARADO SÁCHICA
Director de Especialización e Tecnológica de explosivos
Celular 320 689 3330

"FE EN LA CAUSA"
Carrera 50 No. 18-06 Pte Aranda - Bogotá
WWW.ingenierosmilitares.edu.co

Figura 27 Listado de ingreso a la mina - con previa aprobación

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente durante el ingreso y verificación se llevara a cabo la prueba de alcoholemia de todo el personal.



Figura 28 Prueba de alcoholemia

Fuente: Elaboración propia

Charla de seguridad. Todos los días, y siempre antes de arrancar la operación en cualquiera que sea los turnos, se inicia la actividad con una charla donde se reconocen los peligros y estado de la operación tanto afuera como en el interior de la mina, y del mismo modo el personal aprovecha para informar cualquier eventualidad que pueda poner en riesgo la operación, o peor aún la seguridad del personal que está en tu interior, o involucrado en la actividad; esto con el fin de manejar una constante comunicación, y estar siempre enterados de la operación de todos los frentes de trabajo.



Figura 29 Salón de charlas y divulgación de avance operación.

Fuente: Elaboración propia

Uso de EPP'S – elementos de protección personal. Por seguridad y salud de uno mismo se deben utilizar, y está reglamentado el uso obligatorio de epp's (Elementos de Protección Personal). Estos están comprendidos por:

Casco

Gafas

Tapa oídos

Tapabocas con filtro de partículas

Ropa cómoda, preferiblemente overol

Chaleco efectivo

Botas de caucho con punta de acero

Guantes

Linterna recargable de alto poder



Figura 30 Verificación y Uso de epp's

Fuente: Elaboración propia

Como recomendación adicional, en caso de que la persona a ingresar tenga el cabello largo, este debe estar recogido y no se deben llevar aritos largos en el caso de las mujeres, ni tampoco elementos que se puedan caer con facilidad.

Examen general. Este chequeo se lleva a cabo con el fin de revisar que el personal que ingrese a la mina esté en condiciones óptimas, debido a que las condiciones al interior de la mina, a pesar de que se adecua para la seguridad del personal, no dejan de ser condiciones hostiles para el ser humano y diferentes a las de la superficie, por lo mismo el chequeo comprende toma de tensión arterial, oximetría, pulso, ritmo cardiaco y de más se debe diligenciar un formulario donde se indique el estado de salud.

Estos exámenes son periódicos, y de más se deben firmar compromisos de seguridad.



Figura 31 Examen de ingreso

Fuente: Elaboración propia



Paz del Río
 y Cía. S.A.

FECHA: Día 17 del mes Junio del año 2016

ACTA DE COMPROMISO

Yo Karen S. María Marulanda identificado con C.C. 103052772 recibí y entendí la información de la inducción en seguridad industrial para visitantes de la planta Mina de Hierro el Uvo.

Teniendo en cuenta la información recibida, me comprometo a utilizar todos los elementos de protección personal que se deben utilizar en las instalaciones, a cumplir con las normas de seguridad para las cuales he recibido formación, a permanecer acompañado de guía establecido y a no desviarme de la ruta establecida para la visita.

Además doy fe de encontrarme en buen estado de salud físico y emocional para desplazarme por las instalaciones de la Mina sin inconvenientes y que no presente ninguno de los siguientes problemas de salud: cardíacos, respiratorios, claustrofóbicos, mujeres en embarazo.

Como requisitos de ingreso a la mina me someto a las siguientes pruebas medicas: toma de tensión, signos vitales y prueba de alcoholimetría

RUTA DE LA VISITA: Mina El Uvo

Nota: Queda prohibido desviarse de la ruta establecida inicialmente.

"Soy consciente que mi seguridad depende de mis acciones"

FIRMA TRABAJADOR: [Firma]

CARGO: Estudiante - Visitante

ENTIDAD: Universidad Militar Nueva Granada

SV.	
T.A.	
Sat:	
Fc:	
Fr:	

VISTO BUENO ENFERMERIA:
 NOMBRE ENFERMERA: _____
 FIRMA: _____

ANALISTA SSMA:
 NOMBRE: _____
 FIRMA: _____

Figura 32 Acta de compromiso

Fuente: Elaboración propia

Transporte a la mina. El personal será movilizado a su punto de trabajo en un bus, ya que las distancias son muy largas, y el recorrido dura aproximadamente 40 min.



Figura 33 Bus de transporte del personal

Fuente: Elaboración propia

Polvorín y subpolvorín de la Mina el Uvo

La mina de hierro “el Uvo” maneja un avance de los frentes de forma continua y rápida por lo que se hace necesario ir adaptando los subpolvorines de la mina para facilitar el almacenamiento y transporte del material explosivo a cada uno de los frentes, a continuación se muestra las instalaciones mejoradas del subpolvorin que ayudaran a controlar de manera más efectiva y segura el despacho del explosivo, dentro de los aspectos de mejora se tienen:

- la ubicación de los agentes explosivos los medios de ignición que se manejan, cuentan con un espacio más amplio y mesones de concreto que facilitan la ventilación de las cajas que los contienen comparado con el anterior subpolvorin.
- se realizan mejoras en cuanto a la implementación de tablas de control de despacho de Indugel para cada cuadrillero.
- se realizan aportes para disminuir el tiempo que debe estar el cuadrillero en el sitio entregándoles los tiempos de retardo en maletas con su respectiva distribución.
- Con la implementación de este nuevo subpolvorin se disminuyen los tiempos de recorrido que deben realizar los cuadrilleros a los frentes, y el recorrido que se debe realizar para llevar el explosivo a cada frente.



Figura 34 Vista en planta de las instalaciones del subpolvorin

Fuente: Datos de estudio mina de hierro "el Uvo".



Figura 35 Subpolvorin de la mina el Uvo

Fuente: Elaboración propia

Resultados obtenidos en el manejo de la seguridad en el uso de los explosivos

La seguridad en todos los aspectos relacionados con la voladura de rocas y el manejo que se le da a las sustancias explosivas es uno de los parámetros más controlados en la mina, se cumplen a cabalidad todas las normas de seguridad establecidas tanto por parte de Indumil, como lo descrito en cada uno de los patrones operacionales que maneja la empresa.

El desarrollo de las actividades de almacenamiento del explosivo en el subpolvorin con que cuenta la empresa y el manejo del explosivo hasta que se realiza la quema está controlado por personal calificado, la realización de actualizaciones en los

cursos ayudan a mantener actualizados los conocimientos y así evitar malas prácticas de trabajo.

Dentro de los resultados se tienen mejoras en cuanto a la implementación de tablas de control de despacho de Indugel para cada cuadrillero; Con la implementación de un nuevo subpolvorin se disminuyen los tiempos de recorrido que deben realizar los cuadrilleros a los frentes, y el recorrido que se debe realizar para llevar el explosivo a cada frente ayudando así a controlar más eficientemente el transporte del explosivo en la mina.



Figura 36 Polvorin central mina el Uvo

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 3

Voladura subterránea mina del Uvo

Túneles de minería que lo comprende

La voladura subterránea, según el Ingeniero Alcor Valverde, también llamada tronadura en América Del Sur o algunas zonas de España era llamada barrenos, es una de las técnicas usadas en la ingeniería para fragmentar o fracturar la roca, el hormigón, o suelos duros, empleando explosivos así como lo expresa Codelco en sus documentos educativos.

El objetivo de esta técnica controlada, es la explotación de minas, donde aún hay más usos, como lo son en galerías, túneles, a cielo abierto, o debajo del agua, pero en este caso nos enfocaremos a este tipo de obras de ingeniería, como lo es la explotación en la minería subterránea.

En las voladuras para túneles y galerías hallamos un conjunto de sub ramas, expresadas de la siguiente manera:

Voladuras planificadas para la extracción de minerales

Voladuras en pozos, para obtener mineral o hacer reservorios de agua

Voladuras en chimeneas de minas

Voladuras en bancos de mineral

Voladuras para construir un túnel carretero

Desprendimiento de roca o de anclajes metálicos

Los costos de una excavación varían dependiendo de las características geotécnicas de la roca, donde deben ser contempladas las diferencias en las variables de excavación de un metro cubico con respecto a metros lineales de barreno precisos, de unos tipos de rocas a otras con diferentes características tanto físicas, químicas o mecánicas, así como indican algunas literaturas de Roca de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogota; esto conlleva a la posibilidad de los sobreconsumos y desperdicios conforme a que si la roca no parte adecuadamente, puede que se tenga que usar más del doble en explosivos; esto es debido a que el rendimiento por hora de excavación también tiende a variar de 0.5 a 5 m lineales, que es una diferencia muy amplia, afectando de la misma manera el consumo de explosivos, el cual pasa a ser muy distinto; lo que representa una diferenciación del coste de excavación en roca, variando considerablemente, en relación al tipo de roca, e incluso dentro de la misma clase, siendo un resultado afectado entre que parta bien o mal, lo cual representa volumen de explosivos; estas características son dependientes al número o situación de los planos de rotura.

Al momento fijar el coste de una explotación en roca, hay que proceder, con cautela, efectividad, y un previo examen escrupuloso del terreno.

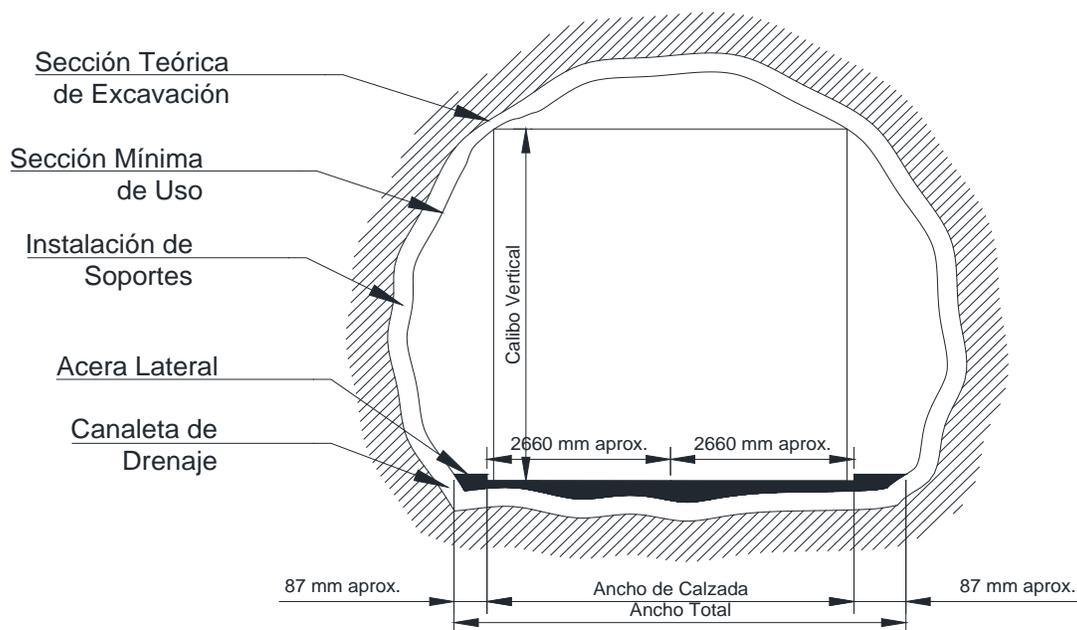


Figura 37. Esquema de sección transversal de un túnel

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Problemas de la excavación con respecto al tipo de suelo

<p>I</p> <p>Suelos sueltos a semicompactos</p>	<p>Arenas, gravas, limos, tierra vegetal, arcillas medias con humedad media, escombros de roca.</p> <p>Se usa maquinaria de media a baja potencia: topadores frontales, excavadora universal.</p>
<p>II</p> <p>Suelos compactos a roca blanda</p>	<p>Arcillas duras, arcilla esquistosa, marga (roca blanda calizo-arcillosa), masa de roca altamente fisurada o estratificada, roca blanda y roca fragmentada por el uso de explosivos.</p> <p>Terrenos que necesitan disgregación con un escarificador o arado. Se usa maquinaria de media a alta potencia (más de</p>

	80hp)
III Roca de dureza media	Roca caliza, pizarra, conglomerados y rocas medianamente estratificadas, rocas muy alteradas y minerales blandos. Se usan máquinas de más de 140 hp, siempre se necesitará disgregación mediante explosivos de baja potencia o escarificadores pesados.
IV Roca dura	Rocas calizas duras o silíceas, rocas ígneas y metamórficas y masas de rocas poco alteradas, cuarcita y minerales de baja densidad Sólo pueden ser excavados por máquinas especiales para cada caso, se usan explosivos de media potencia.
V Roca muy dura	Rocas ígneas no alteradas como granito, diorita, diabasa, rocas metamórficas duras, minerales densos. Se necesitan máquinas especialmente diseñadas y el uso de explosivos de alta potencia.

Conociendo lo que respecta a la explotación de una mina de cualquier índole, se llevara a cabo una descripción del método de extracción de hierro en la mina del Uvo en Boyacá - Colombia, donde se documentara dicha metodología, trazando una curva de aprendizaje, dado el caso que si llegase a presentar situaciones similares en otros proyectos, ya podremos ser conocedores que hacer y qué no hacer en este tipo de situaciones.

Según la Agencia Nacional de Minería, dice Colombia se posiciona en el quinto lugar de producción de este mineral en la región (Centro y Sur América), con una producción de 676.000 toneladas / año (2014). La producción de hierro se desarrolla en tres (3) Minas: el Uvo, Coloradales y Ubalá, que proveen el mineral de hierro para la industria siderúrgica de Paz de Río, ubicada en el municipio que lleva su nombre, en el departamento de Boyacá. El Depósito de Paz de Río (el Uvo y Coloradales), de hierro oolítico correspondiente a la Formación Concentración, de edad terciaria, cuenta con unas reservas, entre probadas y probables, del orden de 27 millones de toneladas. La producción de hierro del país proviene de depósitos encontrados hacia 1938 y en los últimos años, empresas multinacionales han iniciado actividades exploratorias de hierro y carbón para la producción de acero en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá.

La mina del Uvo en Boyacá de Acerías paz del rio, es uno de los proyectos de ingeniería minera más productores de mineral de hierro en la economía de Colombia.

Acerías Paz del Río fue constituida en 1948, pero empezó a operar en 1954. Esta es una empresa mixta, cuyos principales accionistas son los propios trabajadores. También tienen participación el IFI y la Gobernación de Boyacá.

Del Uvo se extraen diariamente 1.550 toneladas de mineral de hierro, para lo cual se utilizan maquinaria pesada, bandas transportadoras, trenes subterráneos y góndolas que se desplazan por un cable aéreo. La mina cuenta con tres circuitos principales de

ventilación, que son alimentados por tres turbinas gigantes que mueven 3.000 metros cúbicos de aire por minuto.



Figura 38 Visita a la mina del Uvo

Fuente: Elaboración propia

Metodologías Utilizadas en la mina el Uvo

El permiso para la explotación de la mina de hierro “el Uvo” actualmente es de la empresa Acerías Paz del Rio S.A. tiene una producción mensual de 13.000 ton de hierro, alcanzando profundidades en explotación por debajo de los 450 metros desde el nivel patio con 9 niveles inferiores.

La gran extensión del yacimiento al igual que las características geológicas y estructurales que presenta, hacen que la mina se divida en bloques permitiendo identificar la zona donde se desarrollan actualmente los trabajos en zona salitre y zona buenos aires.

En la mina se llevan simultáneamente dos métodos de explotación siendo el ángulo de buzamiento el factor determinante para la elección y aplicación del método de explotación, los cuales son:

Explotación por cámaras y pilares. Será aplicado para las zonas donde el buzamiento este por debajo de 17° , el bloque de explotación está delimitado por los niveles principales, avanzados por el rumbo del banco de mineral a una diferencia de cota de 50 metros y vías preparatorias avanzadas por buzamientos aparentes, conformando así paneles con geometrías de 150-200 metro en el rumbo y 100 metros en el buzamiento ver figura 11.

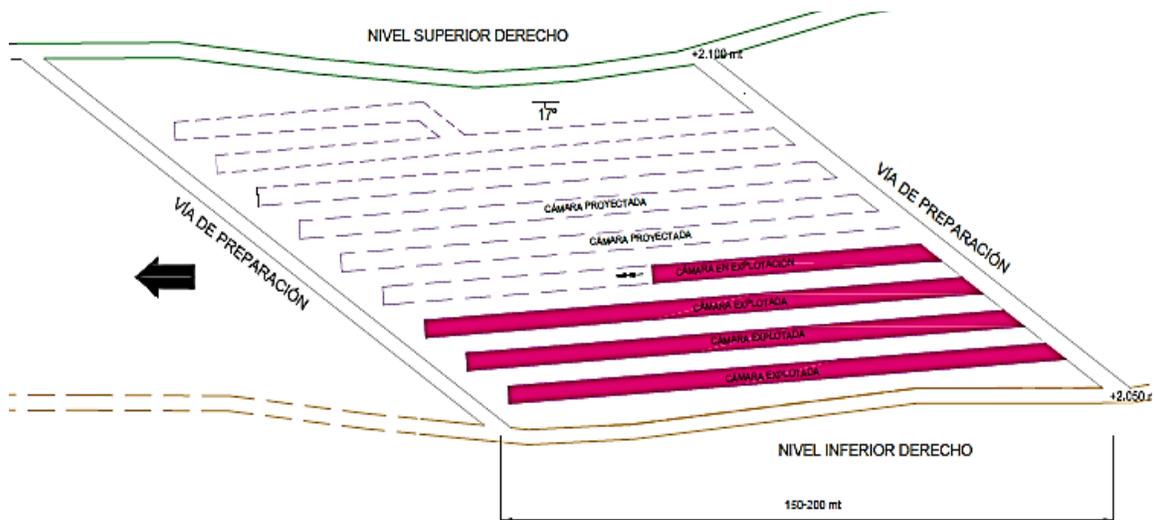


Figura 39 Método de explotación por cámaras y pilares

Fuente: Archivo mina de hierro “el Uvo”.

Explotación por tambores paralelos. Se aplica en las zonas donde el buzamiento es mayor a 17° , al igual que en el método de cámaras y pilares se delimitan un bloque de explotación en el sentido del rumbo mediante niveles separados a una cota de 50 metros y en el sentido del buzamiento por tambores de preparación que son avanzados cada 150 metros ver figura 12.

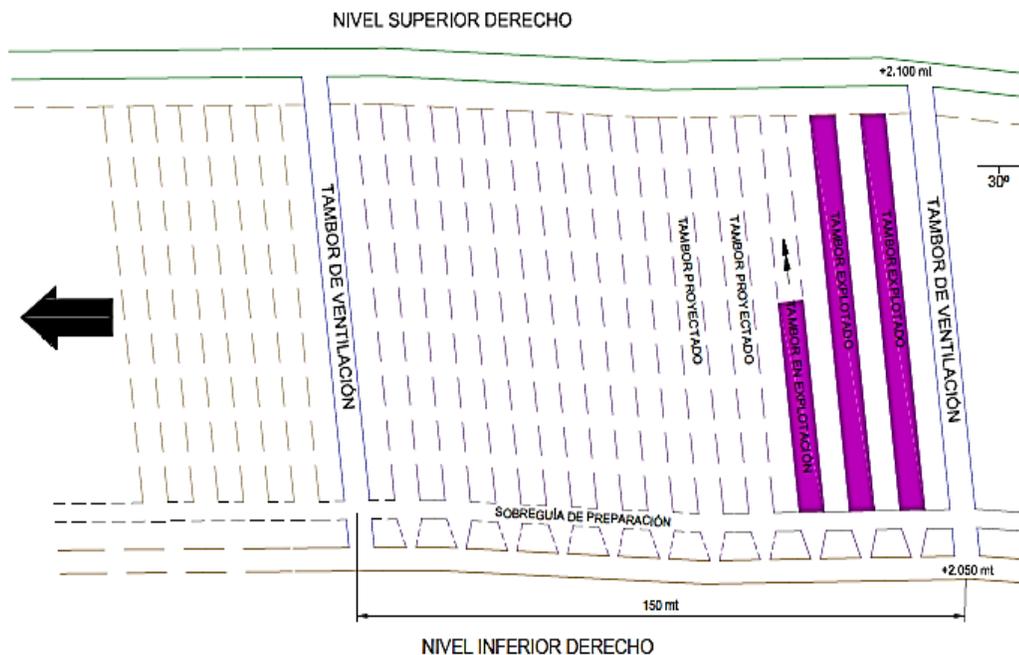


Figura 40 Método de explotación de tambores paralelos

Fuente: Archivo mina de hierro "el Uvo".

El arranque del mineral se realiza mediante la perforación y voladura, en las cámaras con secciones superiores a 18 m^2 y espesores mínimos de 3.5 metros, se utiliza el jumbo perforando barrenos con un diámetro de 45mm y una longitud de 3 metros; En frentes con secciones menores a 18 m^2 como tambores, cámaras, vías, sobre guías, bajada

se utiliza perforadora neumática con columna, perforando barrenos de longitud de 1.8 metros; con esquemas diseñados y establecidos por el área de producción.

En el momento se está avanzando en el octavo nivel inferior, a continuación se puede observar modelos en 2 y 3 dimensiones de los bloques de trabajo actual.

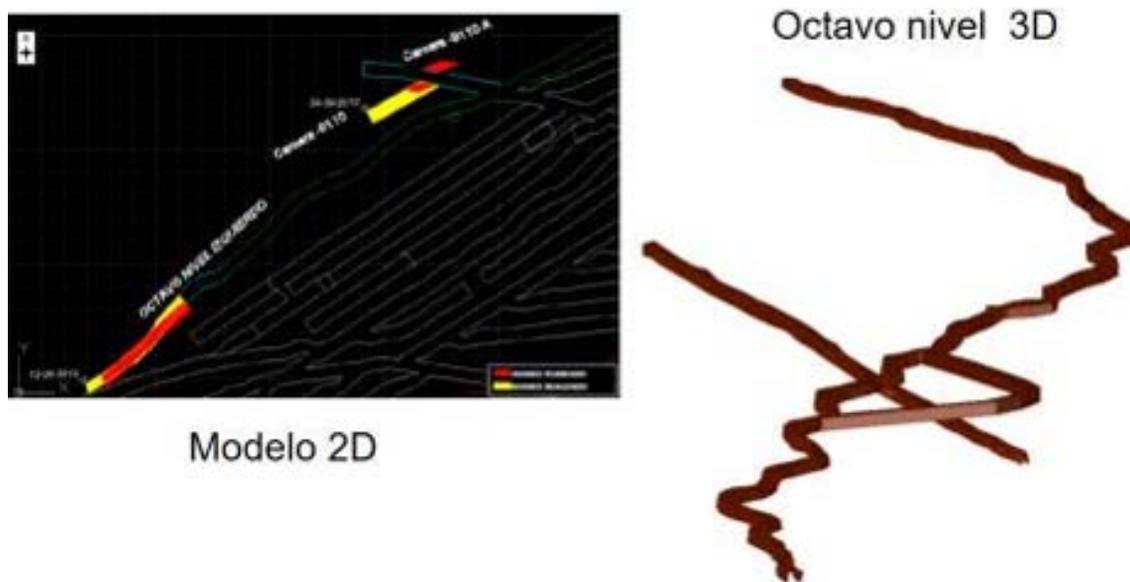


Figura 41. Modelo de explotación actual

Fuente. Archivo mina de hierro el Uvo

En la mina de hierro se maneja un ciclo de trabajo que corresponde a las siguientes operaciones:

- El desabombe y verificación del estado de los techos, pilares y frontones.
- Pernada para realizar el aseguramiento del techo.
- Descargue del mineral con transloader o malacate.
- Perforación con jumbo o perforadora manual neumática.
- Sopleteo de barrenos.

- Cargue de explosivo y voladura.
- El transporte del mineral desde las tolvas se realiza por una red de bandas transportadoras que conducen el mineral al sistema de cargue del cable aéreo encargado de llevar en góndolas la producción de la mina hasta la planta de trituración ubicada en el municipio de Paz de Rio.

Labores de desarrollo.

Dentro de las labores de desarrollo que se manejan en la mina de hierro “el Uvo”, actualmente se realizan el avance del noveno nivel y la bajada central, el avance de estas labores se realizara con perforación manual.

Las labores de desarrollo cuentan con algunas de las siguientes especificaciones:

Sección aprox. de 14m², asegurada con pernos de anclaje con resina de 1,8 metros de longitud. Ver figura 45.

Longitud de Perforación del barreno es 1.6m.

Se avanzan principalmente con perforadora manual neumática, así como se documenta en la imagen.

Se debe tener disponibles redes de agua, aire y cableado eléctrico.



Figura 42. Perforación manual de un frente.

Fuente: Elaboración propia

Labores De Preparación

Dentro de las labores de preparación se manejan las vías y las guías para la preparación de los bloques de explotación. Las labores de preparación cuentan con algunas de las siguientes especificaciones:

Labores avanzadas por buzamientos aparentes para facilitar el descargue del material con Secciones aproximadas de 16 m².

Se deben avanzar con el fin de generar las redes de ventilación y transporte.

El soporte de los techos se realiza con pernos de anclaje con resina.

Pendiente máxima de trabajo de 12% equivalente a los 6 grados. Ver figura 43

Longitud de Perforación de 1.6m.

Se avanzan principalmente con equipo de perforación manual.

Vías con presencia de triángulo de estéril que varía entre 15cm y 30cm.

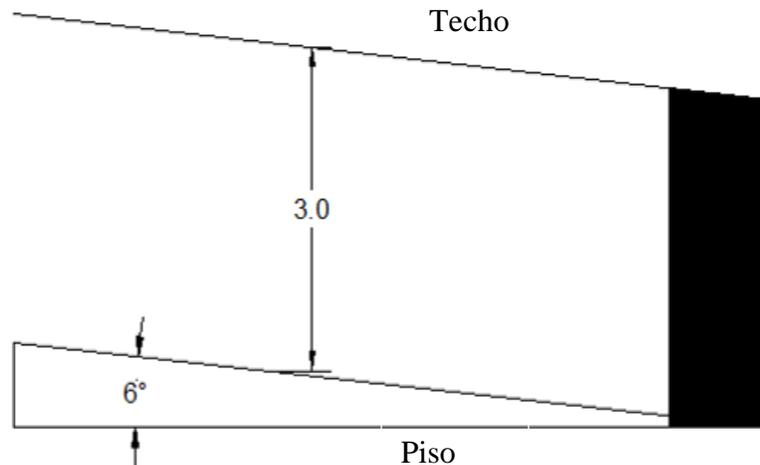


Figura 43. Pendiente de las vías

Fuente: Archivo mina de hierro “el Uvo”.

Labores de explotación.

Dentro de las labores de explotación que se tienen en la mina de hierro se tienen las cámaras y los tambores paralelos. Las labores de explotación cuentan con algunas de las siguientes especificaciones:

- El dimensionamiento geométrico de las cámaras es de 6 m de ancho por 3 a 3,5 metros de alto y longitudes que van de 100 a 200 metros aproximadamente dependiendo de la delimitación de los bloques, generalmente estas labores se realizan por buzamientos aparentes que no superan los 9°. ver figura 39
- Se realizan perforaciones de 3m para las cámaras jumbo (secciones más altas) y de 1,6 para las cámaras con perforación manual.
- Pendientes varían de 3% - 6 %.
- El soporte de los techos se realiza con pernos de anclaje.

- Generalmente se tiene la presencia de triángulo de estéril en la explotación (0.3 - 0.6 m de altura ver figura 44).
- Los tambores tienen dimensiones de 4 m de ancho por 4 m alto, se avanzan por el buzamiento del manto con longitudes de hasta 100 m ver figura 40
- La perforación en los tambores se realiza con perforadora manual neumática y la longitud de barreno no supera los 1.6m.

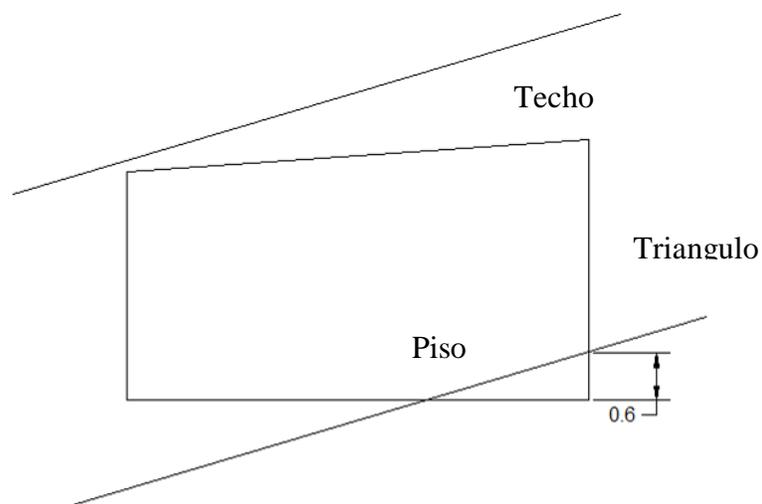


Figura 44 Frente de perforación con triángulo de estéril

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo

Avance efectivos de la voladura.

El avance efectivo que deben tener las voladuras en la mina está determinado por los cálculos que se realizan dependiendo el tipo de esquema y la maquinaria o equipo con que se realiza la perforación así:

Tabla 8 Avance efectivo y rendimiento de la voladura

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo

Labor	Tipo de perforación	Longitud de perforación	avance efectivo	Área	Rendimiento
Cámaras altas	Mecanizada con jumbo	3 m	2.4m	20 m ²	144 toneladas/voladura
Vías	Manual con perforadora	1.8m	1.4m	16 m ²	67,2 toneladas/voladura
Cámaras bajas	Manual con perforadora	1.8m	1.4m	18 m ²	80,64 toneladas/voladura
Bajada central	Manual con perforadora	1.8m	1.2m	14 m ²	50,4 toneladas/voladura
niveles	Manual con perforadora	1.8m	1.2m	14 m ²	50,4 toneladas/voladura

En el cuadro de avances se muestra el tipo de labor que se tiene que puede ser perforada manualmente o mecanizada, se muestra la longitud de perforación y avances efectivos de 2.4 metros para cámaras altas, 1,4 metros para vías, y cámaras bajas, y 1,2 metros para la bajada central y los niveles.

Capítulo 4

Ciclos de excavación

Dimensiones geométricas de los frentes de explotación

Las dimensiones geométricas que se manejan para cada una de las labores de desarrollo, preparación y explotación en la mina, varían de acuerdo al tipo de labor que se esté avanzando y la zona o bloque que está delimitada por las condiciones geológicas descritas (ver figura 11) para el caso las fallas, por ello se muestran las siguientes dimensiones:

Dimensiones para labores de desarrollo. La bajada central en la mina de hierro “el Uvo”. Debe llevarse con un ancho de 4.5 metros, y un alto de 2.8 metros generando una sección de 14 m^2 , así realizar la instalación de la red de bandas transportadoras y permitir el paso de personal. Ver figura 45.

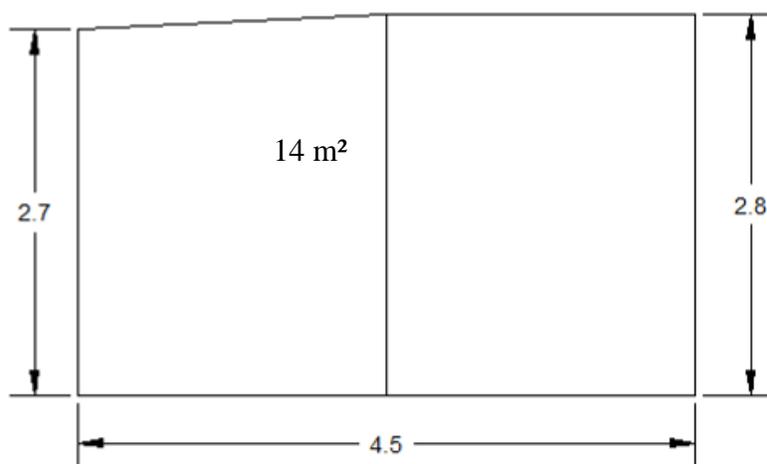


Figura 45 Dimensiones bajada central

Fuente: Topografía mina de hierro “el Uvo”.

Dimensiones para labores de preparación. En la mina de hierro “el Uvo” las labores de preparación se desarrollan con un ancho de 5.5 metros, alto de 3.0 metros generando una sección de 16 m², sujeto a las dimensiones de la maquinaria con que se realiza el descargue del mineral. Ver figura 46.

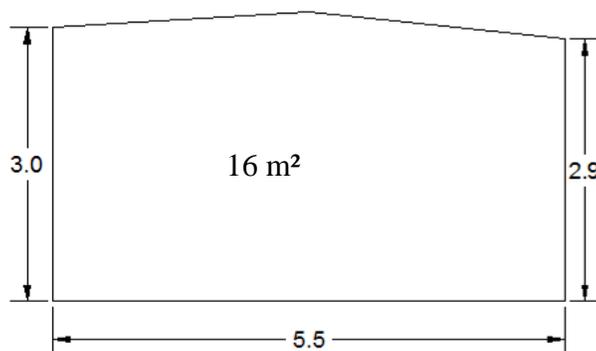


Figura 46 Dimensiones vías

Fuente: Topografía mina de hierro “el Uvo”.

Dimensiones para labores de explosión. En la mina de hierro “el Uvo” las labores de explotación manejan dimensiones de 6 metros de ancho, 3,8 metros de alto para la parte más alta y 3.1 metros de alto para la parte más baja del frente cuando se maneja la perforación mecanizada con jumbo ver figura 13, y de 6 metros de ancho, 3,3 metros de alto para la parte más alta y 2.9 metros de alto para la parte más baja del frente cuando se maneja la perforación manual ver figura 48.

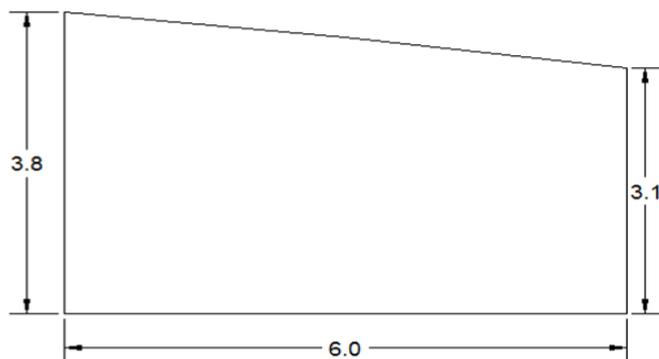


Figura 47 Dimensiones de las cámaras perforación con jumbo

Fuente: Topografía mina de hierro “el Uvo”.

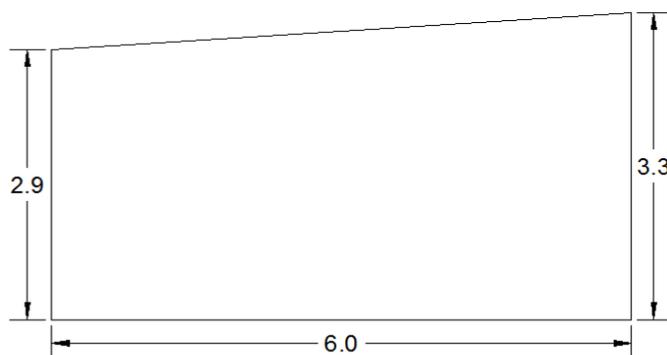


Figura 48 Dimensiones de las cámaras perforación manual

Fuente: Topografía mina de hierro “el Uvo”.

Parámetros de perforación.

Dentro de los parámetros que se deben tener en cuenta para realizar la perforación se tiene en la mina de hierro “el Uvo” una clasificación de los frentes de acuerdo a su sección, y se manejan de la siguiente manera:

Tabla 9 Paso a paso sistemas de perforación

Fuente: Elaboración Propia

PERFORACIÓN MECANIZADA	
<ul style="list-style-type: none">• Inicialmente se utiliza un jumbo perforador de un brazo con la capacidad de perforar barrenos de hasta 3.6m• Se realiza la perforación en frentes o cámaras altas que superan los 3m de alto• Se maneja un esquema de perforación que cuenta con un cuele de 9 barrenos cargados y dos barrenos vacíos para generar la cara libre.• Se maneja una longitud de perforación de 3m.• Se perforan barrenos con un diámetro de 45mm.	 
PERFORACIÓN MANUAL	

<ul style="list-style-type: none"> • La perforación se realiza con perforadoras neumáticas con columna. • Se perforan cámaras bajas o con alturas inferiores a 3m, vías, bajada central, nivel, sobre guías y tambores. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Para generar la cara libre de este tipo de esquemas se genera una cuña con 8 barrenos cargados en forma de V. • Se maneja una longitud de perforación de 1.80m en la cuña y de 1.60m en los barrenos de contorno. • El diámetro de perforación que se maneja es de 40mm 	

Excavación en los túneles de la mina del Uvo

El último diseño optimizado del esquema de perforación planteado para este proyecto es llamado con cuña en “v”.

Esquema de perforación con cuña en “v”. Se realiza un análisis a el esquema de perforación con cuña en “V” que se implementa en la perforación manual y se aconseja realizar un cambio en las longitudes de perforación de las líneas de barrenos,

representados en la figura N° 49, debido a que el ángulo con que se lleva la cuña genera que la longitud de perforación de 1.80 metros solo de un avance de 1.60 m.

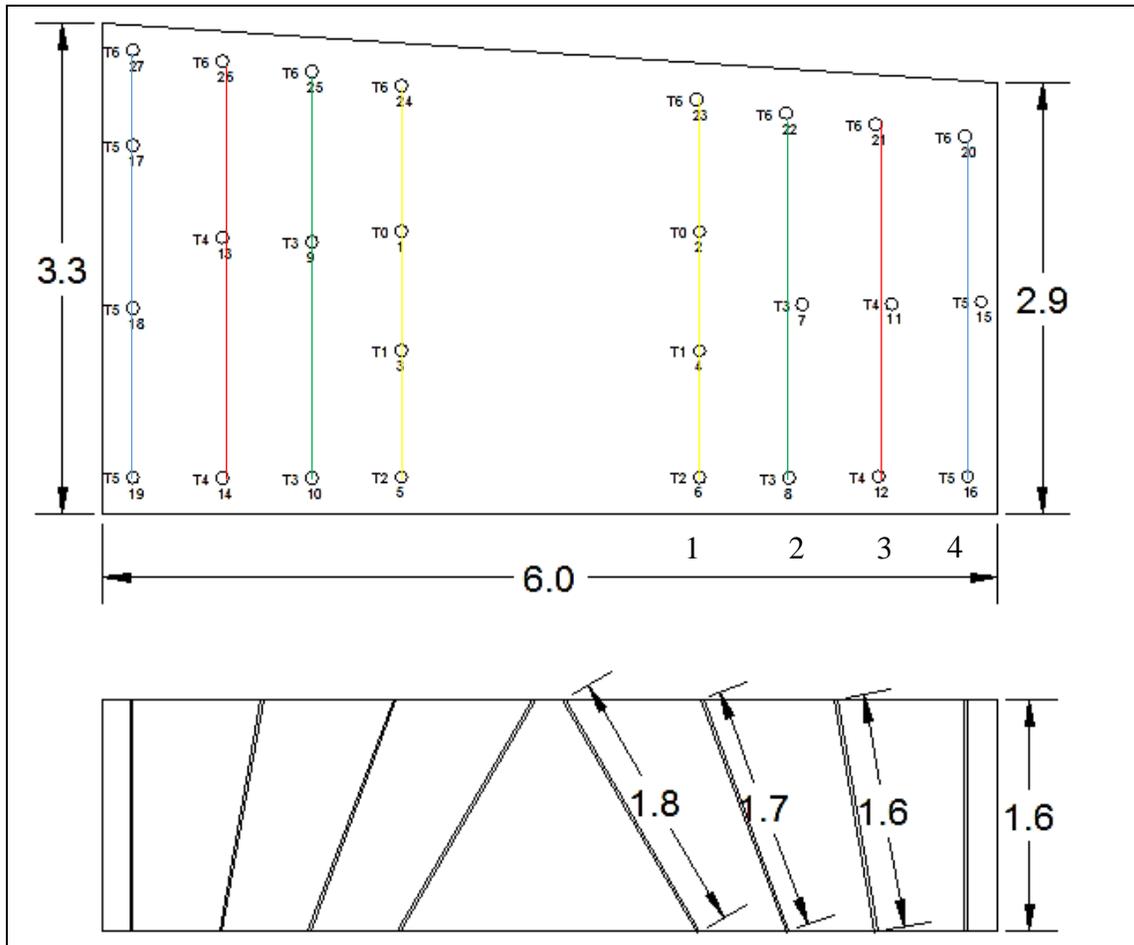


Figura 49 Longitud de los barrenos para el esquema con cuña en "v"

Fuente: Datos de estudio.

Dentro de la longitud de perforación que se tiene para la primera línea de barreno o la zona de cuña se realizara de 1.80 metros, la segunda línea de 1.70 metros, la tercera y cuarta línea de 1.60 metros, así se ajustara la longitud de perforación logrando continuidad en el frente y minimizando tiempo de perforación y perdidas por desgaste de varillas y consumo de energía; se realizan cálculos de la longitud de perforación y se

evidencia que se está realizando una sobre perforación 3,2 metros de perforación por cada voladura Ver tabla 10 que no son necesarios y que por el contrario están generando costos.

Tabla 10 Comparación entre la longitud de perforación de 1.80m y las proyectadas en el esquema

descripción	cantidad de barrenos	longitud calculada de perforación (m)	long total de perforación (m)	longitud proyectada (m)	long total de perforación (m)
primera línea	8	1.8	14.4	1.8	14.4
segunda línea	6	1.8	10.8	1.7	10.2
tercera línea	6	1.8	10.8	1.6	9.6
cuarta línea	7	1.8	12.6	1.6	11.2
TOTAL			48.6		45.4

Longitud de perforación mensual	83.2
Equivalencia en número de frentes perforados	2

Fuente: Datos de estudio.

Capítulo 5

Resultados y discusión.

Resultados de la voladura

Es fundamental que los resultados de la voladura se estén evaluando continuamente con el fin de asegurar la efectividad de la misma; la presencia de estructuras geológicas, presencia de agua en los frentes, cambios en el espesor del banco, que pueden ser identificados rápidamente y así poder hacer los ajustes correspondientes.

Los aspectos que se deben tener en cuenta al momento de analizar los resultados de la voladura son:

- Avance efectivo de la voladura.
- Fragmentación y porcentaje de sobre tamaño.
- Perfil de las pilas formadas para facilitar la pernada.
- Afectación de los techos y los pilares.
- Regularidad de los frentes para facilitar el descargue.
- Regularidad en los pisos.
- Contorno de la labor.

Análisis y descripción de los actuales esquemas de perforación y voladura.

Desde el archivo de la mina La mina “el Uvo” actualmente tiene establecidos una serie de diseños de esquemas de perforación y voladura con sus respectivos cálculos para cada una de las labores, a continuación se dan a conocer sus características que son necesarias para realizar el seguimiento de estos en los frentes de explotación.

Esquemas de perforación y voladura para labores de desarrollo y preparación

Bajada Central. El esquema de perforación para el avance del frente en la bajada central, se basa en un esquema con cuña en V, en el frente se distribuyen 21 barrenos que son cargados con 18,750 kg de Anfo, 21 tacos de Indugel plus 38*250mm, 21 unidades detonadores no eléctricos Exel, 15 m de cordón detonante, 2,5 m de mecha y un detonador común #8.

Tabla 11 Información del frente - dato 1

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo.

Ancho de la labor	4.50 m
Alto de la labor	3.30 m
Área del frente	14.85 m ²
Volumen del frente	17.82 m ³
Material a remover por voladura	53 t

Tabla 12 Información de Voladura - dato 1

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo.

Diámetro del barreno cargado	0.040 m
Longitud de avance efectivo	1.2 m
Numero de barrenos	21 unidades

Noveno nivel. El esquema de perforación para el avance del frente en la bajada central, se basa en un esquema con cuña en V, en el frente se distribuyen 24 barrenos que son cargados con 25 kg de Anfo, 24 tacos de Indugel plus 38*250mm, 24 unidades de detonadores no eléctricos Excel, 15 m de cordón detonante, 2,5 m de mecha y un detonador común #8.

Tabla 13 Información del frente - dato 2

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo.

Ancho de la labor	4.50 m
Alto de la labor	3.10 m
Área del frente	13.95 m ²
Volumen del frente	16.74 m ³
Material a remover por voladura	50 t

Tabla 14 Información de Voladura - dato 2

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo.

Diámetro del barreno cargado	0.040 m
Longitud de avance efectivo	1.2 m
Numero de barrenos	24 unidades

Vias. El esquema de perforación para el avance del frente en la bajada central, se basa en un esquema con cuña en V, en el frente se distribuyen 27 barrenos que son cargados con 31,250 kg de Anfo, 27 tacos de Indugel plus 38*250mm, 27 unidades de detonadores no eléctricos Excel, 20 m de cordón detonante, 2,5 m de mecha y un detonador común #8.

Tabla 15 Información del frente - dato 3

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo.

Ancho de la labor	5.50 m
Alto de la labor	3.35 m
Área del frente	18.43 m ²
Volumen del frente	22.11 m ³
Material a remover por voladura	66 t

Tabla 16 Información de Voladura - dato 3

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo.

Diámetro del barreno cargado	0.040 m
Longitud de avance efectivo	1.2 m
Numero de barrenos	27 unidades
Longitud de perforación	1.6 m

Esquemas perforación y voladura para labores de explotación.

Cámaras de perforación con Jumbo. El esquema de perforación para el avance del frente en la bajada central, se basa en un esquema con un cuele que cuenta con 9 barrenos que están cargados con 45 tacos de Indugel plus 38*250mm, en el frente se distribuyen los 22 barrenos restantes que son cargados con 68,750 kg de Anfo, 22 tacos de Indugel plus 38*250mm, 31 unidades de detonadores no eléctricos Excel, 25 m de cordón detonante, 2,5 m de mecha y un detonador común N°8. Este esquema además cuenta con dos barrenos de alivio de 100mm en el cuele para ayudar a generar la cara libre.

Tabla 17 Información del frente - dato 4

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo.

Ancho de la labor	6m
Alto de la labor	3.30m
Área del frente	19.80 m ²
Volumen del frente	47.52 m ³
Material a remover por voladura	143 t

Tabla 18 Información de Voladura - dato 4

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo.

Diámetro del barreno cargado	0.045 m
Diámetro del barreno vacío	0.1m
Longitud de avance efectivo	2.4 m
Numero de barrenos	31 unidades

Cámaras de perforación manual (perforadora neumática). El esquema de perforación para el avance del frente en las cámaras con perforación manual, se basa en un esquema con cuña en V, en el frente se distribuyen 27 barrenos que son cargados con 31,250 kg de Anfo, 27 tacos de Indugel plus 38*250mm, 27 unidades de detonadores no eléctricos Excel, 20 m de cordón detonante, 2,5 m de mecha y un detonador común N°8.

Tabla 19 Información del frente - dato 5

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo.

Ancho de la labor	6 m
Alto de la labor	3.35 m
Área del frente	18.43 m ²
Volumen del frente	22.11 m ³

Material a remover por voladura	66 t
---------------------------------	------

Tabla 20 Información de Voladura - dato 5

Fuente: Datos de estudio – Archivo mina el Uvo.

Diámetro del barreno cargado	0.040 m
Longitud de avance efectivo	1.4 m
Numero de barrenos	27 unidades

Variables controlables en la perforación y voladura.

Para el seguimiento de los esquemas de perforación y voladura de la mina de hierro “el Uvo” se analiza las siguientes variables controlables, que se manejaran en el formato de seguimiento para poder optimizarlas y obtener los mejores resultados:

Diámetro de perforación: los diámetros de perforación que se deben manejar para los frentes con perforación mecaniza es de 45 mm para barrenos cargados, 100 mm para barrenos vacíos; para perforación manual barreno con un diámetro de 40 mm.

Inclinación: En los frentes que se realizan el avance con jumbo perforador se debe maneja paralela al frente (formando ángulo de 90°), en los esquemas donde se maneja cuña en “ V” se manejan las inclinación para la cuña de 60°, para la siguiente línea de barrenos de 70° y 80° respectivamente ver figura 50.

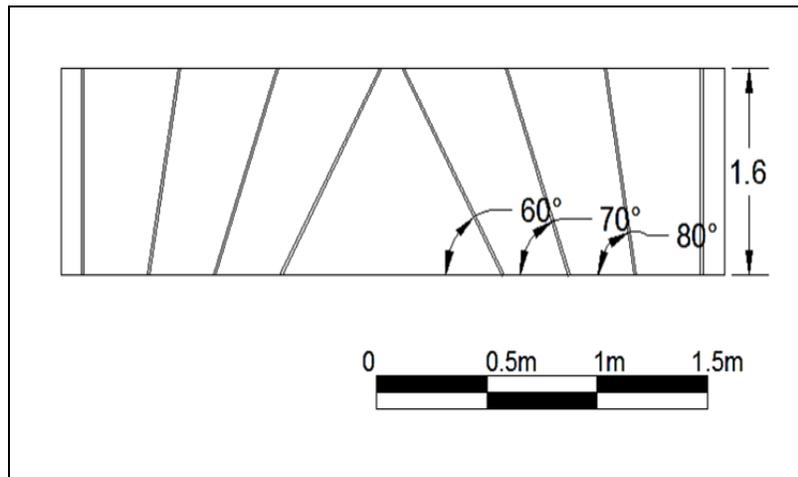


Figura 50 Vista en planta de la inclinación de los barrenos

Fuente: Archivo mina de hierro “el Uvo”

Esquemas de perforación: realizar los esquemas de acuerdo a los diseños establecido en el numeral análisis y descripción de los actuales esquemas de perforación y voladura plasmándolos en los frentes para minimizar los errores de distribución en el frente.

Tiempos de retardo y secuencias de salida: dentro de los tiempos de retardo se deben verificar las salida de la cuña (perforación manual) y el cuele de los esquemas para asegurar la cara libre que permite el desplazamiento de las demás líneas de barrenos para los esquemas de perforación manual se manejan 7 tiempos de retardo y para los esquemas de perforación mecanizada 12 tiempos de retardo de la serie milisegundos.

Longitud de Retacado: dentro de la longitud de retacado que se debe manejar para el óptimo desarrollo de la quema se recomienda utilizar una tercera parte de la longitud de perforación del barreno. Para barrenos de perforación mecanizada será de 1m y para barrenos de perforación manual de 60 cm ver figura 51.

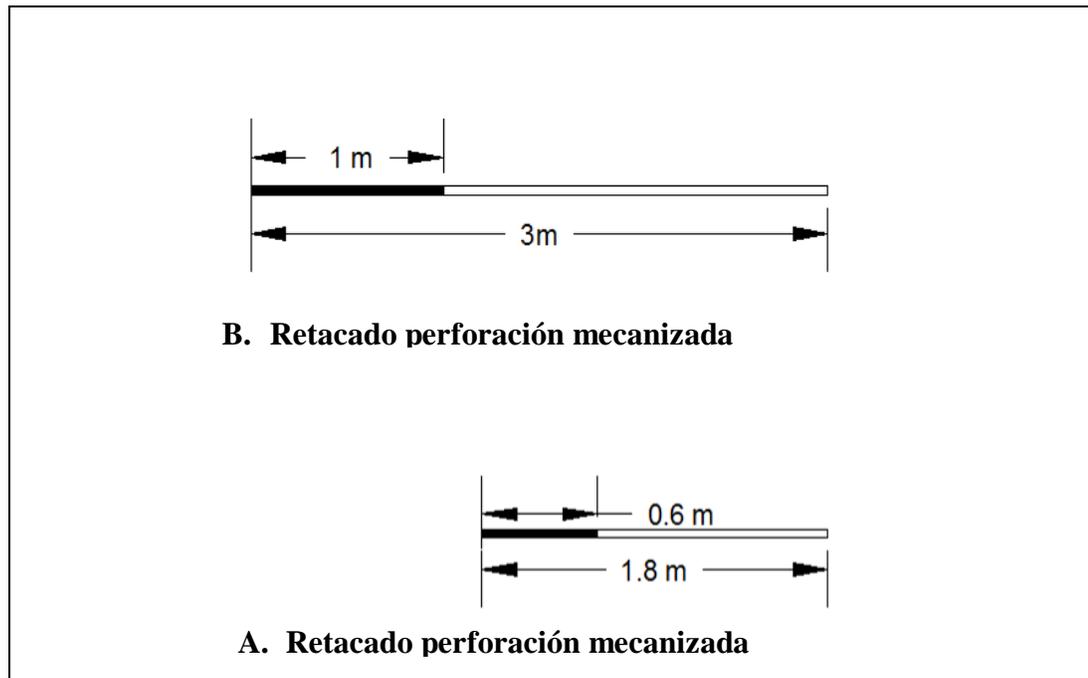


Figura 51 Longitud de retacado

Fuente: Datos de estudio mina de hierro “el Uvo”.

Resultados obtenidos

El seguimiento del proceso de perforación y voladura se realizó en los frentes de y se registró la información específica de los frentes que presentaron dificultades así:

Tabla 21 Análisis de los resultados obtenidos en el seguimiento a los esquemas de perforación y voladura en los frentes

Fuente: Archivo datos de estudio mina de hierro “el Uvo”.

FECHA	SITIO	TIPO DE PERFORACION	EVALUACION DEL FRENTE
21/05/2015	Vía 911	manual con columna	Se realiza el análisis de la perforación en el frente, se hace énfasis en la dirección de

			perforación con que se realiza los barrenos de techo y se presume que esta se realiza continuamente en todas perforaciones donde se ve afectado los techos de la vía.
26/05/2015	Cámara 9103	jumbo	Se realiza el seguimiento a la perforación, el cuele se cambia en cada quema de acuerdo a los candeleros que deja la anterior quema para facilitar la perforación.
02/06/2015	9 nivel	manual con columna	La perforación de los barrenos de piso en la parte del triángulo de estéril se hace más complicada ya que este suele derrumbarse y complica el cargue del mimo
10/06/2015	Cámara 9180	mecanizada con jumbo	Se evidencian un problema con el barreno de piso que va sobre el triángulo de estéril, se realiza el sopleteo y esta derrumbado por lo que se hace más difícil el cargue del mismo ya que la roca suele romper los tacos de Indugel se evidencia que en las partes donde quedan irregularidades el brazo no puede perforar manejando el paralelismo en los barrenos y se pueden cruzar cortando así la capacidad rompedora de la onda que se genera.

11/06/2015	9 nivel por B/C	manual con columna	Se evidencia que el desgaste de las brocas después de un tiempo de trabajo se va perdiendo diámetro en el barreno lo que hace que el taco entre forzado.
25/06/15	Vía 911	manual con columna	Se toma el avance de la voladura en el frente que es de 1.30m que es el equivalente a un 81% de avance. Se debe analizar la perforación que se está realizando en la cuña del esquema ya que se realiza una perforación de 1.80m .
07/07/15	Cámara 91-24	mecanizada con jumbo	Se realiza inspección al frente se evidencia que hay candeleros que quedan de la anterior perforación que superan los 60 cm, el frente no está adecuado para el descargue por lo que se deben mejorar en la perforación de los barrenos de piso, así evitar que en la siguiente perforación se realizan más altos los barreno y se pierda el piso de la cámara, o por el contrario se pierde el paralelismo y se genera sobre perforación.
13/07/15	Cámara	mecanizada	Se marca completamente el frente de la cámara

	91-30	con jumbo	y se hace el seguimiento a la perforación de todo el frente, se corrigen algunos aspectos de dirección para mejorar el piso de la cámara.
28/07/15	Cámara 92-30	mecanizada con jumbo	Se realizó el seguimiento a la perforación y el cargue de la cámara se realiza una perforación de 3 m se evalúa la voladura y se tiene resultados de avance de 2.40m y candeleros de 60 cm, se podría establecer que la efectividad de la voladura podría estar afectada por el retacado que se realiza a la misma y la presencia de agua en algunos de los barrenos.
29/07/15	Cámara 92-28	mecanizada con jumbo	Se realiza la evaluación del frente se evidencia un frente muy discontinuo lo que afecta el descargue. el avance en promedio de 2.10m y los candeleros de 90cm en la parte derecha de la cámara.
04/08/15	Cámara 91-30	mecanizada con jumbo	Se observa un frente con candeleros de 30 a 40 cm se tiene un avance de 2.30m se mejoran aspectos como la regularidad del frente ya que se realiza la limpieza de la cámara de una mejor manera y se evita el tener que realizar la limpieza con pica que representa más tiempo

			por parte del trabajador que va a realizar el cargue
10/08/15	Cámara 91-24	mecanizada con jumbo	Se realiza seguimiento a el avance que presento la voladura realizada el día anterior que fue de 3m y se evidencia un avance de 2.20m y candeleros de 80 cm.
24/08/15	Cámara 91-93A	mecanizada con jumbo	Se realiza el seguimiento a el avance de la quema con una perforación de 2.70 m tomando una medida de avance de 1.80 m y candeleros de 90 cm. Se debe analizar el índice de explosivo con el que se estaría trabajando por que la perforación no llega a los 3 m y el avance es muy bajo.

En los frentes anteriormente mencionados se realiza un continuo y detallado seguimiento al proceso de perforación y voladura que se maneja en la mina analizando los parámetros que son esenciales en el proceso y que se nombran a continuación:

- Demarcación del esquema de perforación en los frentes
- Perforación en el frente
- ✓ Perforación manual con perforadoras neumática
- ✓ Perforación mecanizada con jumbo de un brazo
- Limpieza y Sopleteo de los barrenos

- Cargue de los barrenos con el explosivo
- Retacado de los barrenos
- Evaluación de los resultados de la voladura
- ✓ Proyección de la carga
- ✓ Avance de la voladura
- ✓ Longitud de candeleros
- ✓ Estado de los pisos
- ✓ Granulometría
- ✓ Secciones proyectadas (pendiente y contorno en el frente).

Demarcación del Esquema de Perforación en los Frentes.

Se debe marcar el esquema de perforación según el diseño establecido dependiendo de la labor que se va a trabajar, en el seguimiento se puede observar que por cuestiones de tiempo se obvia este paso en algunos de los frentes, por lo que se les hace un especial énfasis a los cuadrilleros en la importancia de marcar cada uno de los barrenos, así se evitara una mala distribución de los barrenos, pérdida de capacidad en el área de influencia y desviación.



Figura 52 Esquema perforación manual



Figura 53 Esquema jumbo

Fuente: Datos de estudio mina de hierro “el Uvo”.

Perforación en el Frente

Perforación Manual con Perforadoras Neumática.

La perforación representa más del 90% de la efectividad de la voladura , en la mina “el Uvo” se realiza con perforadora manual neumática y una varilla de 1.80 metros y que se ajusta de acuerdo al diámetro del barreno que está establecido en el diseño, se hace un énfasis en el manejo del ángulo que debe tener la máquina para perforar la cuña en V donde es el parámetro que más necesita ser supervisado para evitar desviaciones en los barrenos, estas desviaciones pueden afectar el poder del explosivo y por lo tanto la fragmentación y el avance, generando sobredimensionamiento en el frente que afectan la geometría de las secciones establecidas, las longitud de perforación de la siguiente voladura y el descargue.



Figura 54 Perforación manual

Fuente: Datos de estudio mina de hierro “el Uvo”.

Perforación Mecanizada con Jumbo de un Brazo.

La perforación mecanizada es uno de los mejores medios que se manejan en la mina de hierro “el Uvo”, la perforación que se realiza es continua y muy efectiva, al mismo tiempo que se realiza de manera paralela por el diseño establecido, dentro de los aspectos a tener en cuenta es el cuidado que se debe tener cuando se perforan los barrenos en sitios donde se encuentra el triángulo de estéril [ver figura 5](#).



Figura 55 Perforación con jumbo.

Fuente: Datos de estudio mina de hierro “el Uvo”.

Limpieza y Sopleteo de los Barrenos:

En general siempre se realiza el sopleteo y limpieza de los barrenos en todos los frentes de forma adecuada y se evidencia que aun en zonas donde hay presencia de agua este debe hacerse varias veces durante el cargue lo que ayuda a realizar el llenado del barreno de forma eficiente.

Cargue de los Barrenos con el Explosivo

Se manejan de forma segura y adecuada el cargue de los frentes de acuerdo a los cálculos realizados y según cada uno de los parámetros establecidos, en los frentes donde se manejan perforación manual suelen evidenciarse dificultades cuando las brocas presentan desgaste para realizar el cebado de los tacos por lo que se toman medidas como realizar seguimiento a esta brocas y desecharlas cuando llegan a un diámetro crítico de desgaste.

Retacado de los barrenos

En el diseño establecido para la mina el retacado debe ser una tercera parte de la longitud del barreno para aprovechar la potencia del explosivo y generar la rotura de la roca, en el seguimiento realizado este es uno de los parámetros que más dificultad presenta en todo el desarrollo del cargue de los barrenos porque en la actualidad no se está realizando el retacado en su totalidad.

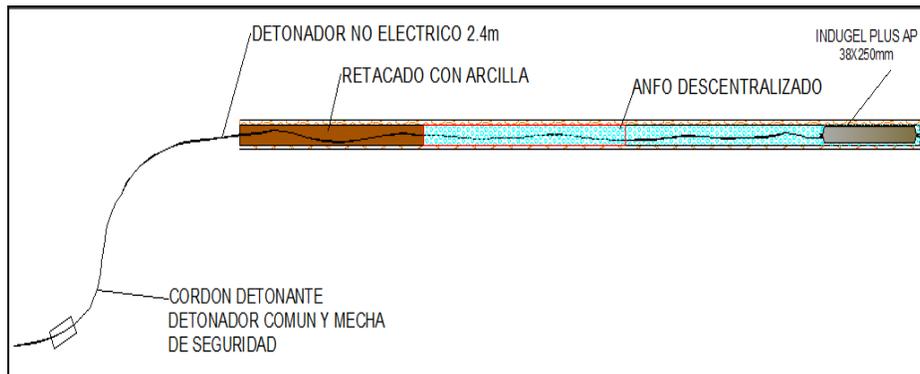


Figura 56 Retacado de los barrenos

Fuente: Archivo mina de hierro “el Uvo”.

Evaluación de los resultados de la voladura:

Una vez realizado todo el proceso de perforación, cargué y quema se procede a realizar la evaluación de los resultados obtenidos en la voladura, analizando los siguientes aspectos:

Proyección de la Carga

La proyección de la carga en la voladura y la forma en que esta queda distribuida en el frente es la adecuada para los esquemas que manejan cuña en “V” la distribución resulta en un montículo central y para las cámaras con esquemas con cuele la acumulación es a lo largo de toda la cara del frente disparado favoreciendo así el trabajo sobre carga, este parámetro se evalúa por la necesidad que se tiene, para facilitar la pernada. La proyección de la carga que se tiene en los frentes promedia de 4 metros para frentes con perforación manual y hasta 7 metros para frentes mecanizados ver figura 57.

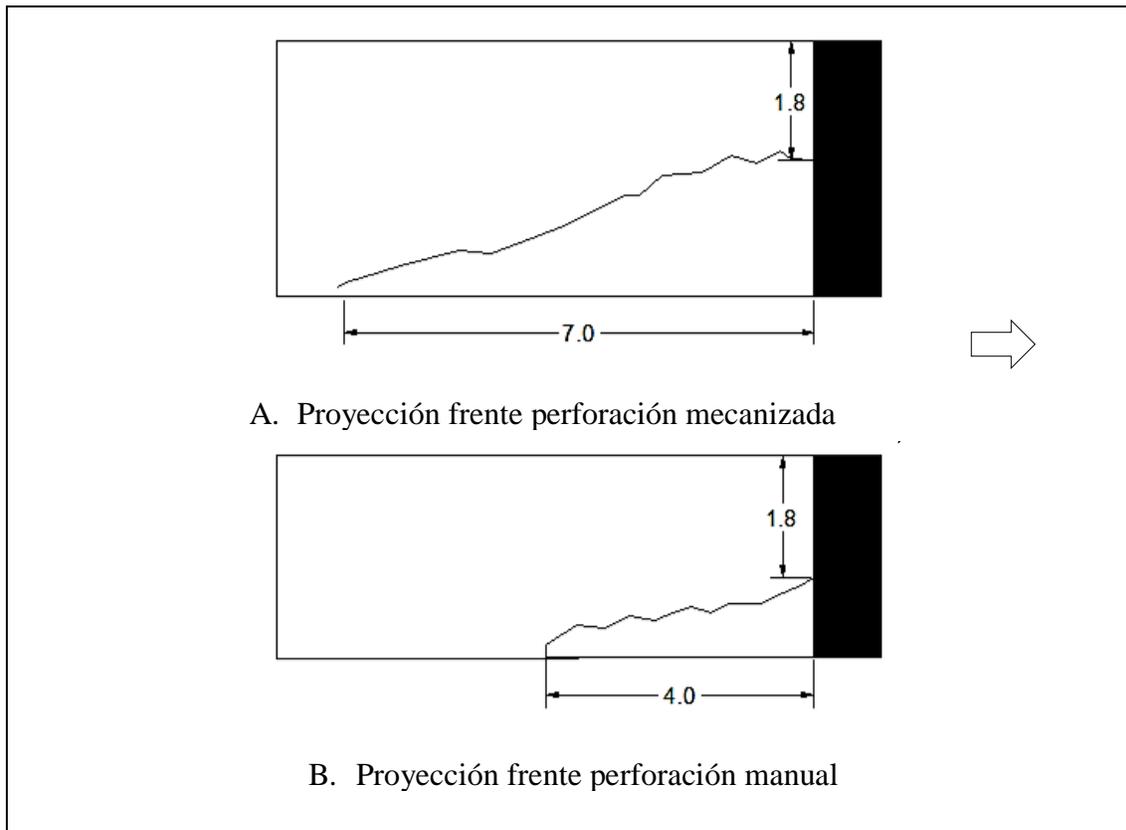


Figura 57 Proyección de la carga en el frente

Fuente: Datos de estudio mina de hierro “el Uvo”.

Avance de la voladura

la voladura en la mina de hierro “el Uvo” depende del medio de perforación que se utiliza, para las voladuras donde se ha realizado una perforación (manual) 1.80 el avance calculado debe de ajustarse a 1,40m y para perforaciones (mecanizadas) de 3m un avance de 2,4m; en el análisis y toma de datos de las voladuras se evidencian datos de voladuras que alcanzan promedios de avance para perforación (manual) que van desde 1.10m hasta los 1.40m, para los avances con perforación (mecanizada) se obtuvieron datos de avance

que van de 1.90 m, hasta 2,40m, se logran resultados positivos y que alcanzan el promedio de avance calculado pero no es constante en todas las voladuras, evidenciando que se debe revisar los factores que hacen que no todas las voladuras presenten el mismo avance, se deben evaluar cada uno de los parámetros que se han mencionado en la evaluación de la perforación y cargue de la voladura.

Longitud de Candeleros.

La toma de datos de los candeleros ayuda a evidenciar y comprobar que una voladura fue efectiva o no, para el caso de la mina como se mencionó los avances no fueron efectivos en la totalidad de las voladuras que se evaluaron, por lo que se pueden evidenciar datos de candeleros que van desde los 20cm hasta los 90cm en los casos más críticos, también se debe analizar que la presencia de estas marcas ayudan a evidenciar que tan paralelo se perforo el barreno y así poder realizar las respectivas correcciones en la próximas perforaciones ver figura N°58.

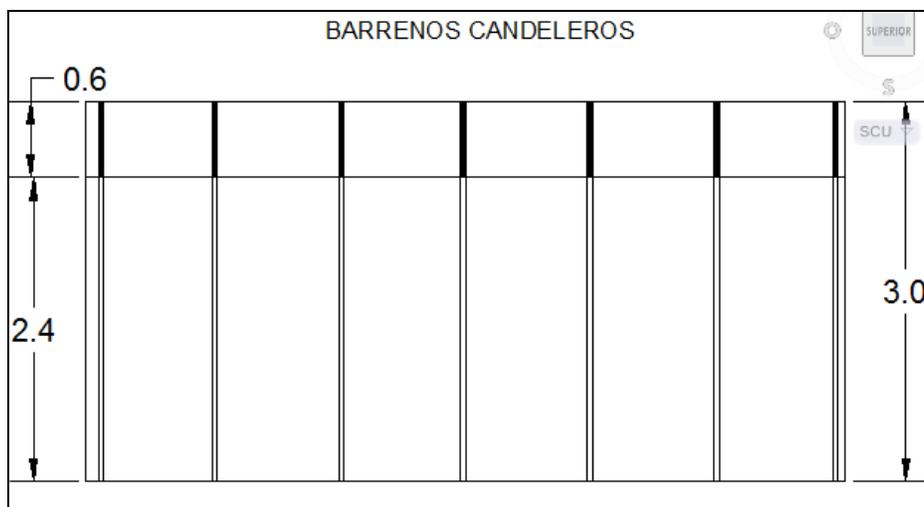


Figura 58 Proyección de la carga en el frente

Fuente: Datos de estudio mina de hierro "el Uvo".

Estado de los Pisos.

En la voladuras el aspecto del estado en que quedan los pisos de las labores es un aspecto relevante debido a el continuo paso de la maquinaria que realiza el descargue de los frentes, en la mina este aspecto es uno de los mejor manejados debido a la continuidad con que quedan los pisos y no se hace necesario realizar rebajas considerables a los mismos.

Análisis y mejoras al seguimiento.

Dentro del seguimiento que se realiza a el proceso de perforación y voladura se debe realizar un continuo seguimiento a los avances que tienen las voladuras para poder evaluarla respecto a una efectividad base de cálculo del 90%, los resultados obtenidos para la evaluación realizada en el seguimiento con un una perforación de 3 metros y un avance de la voladura medido en campo de 2.4 metros, donde se muestra que hay una pérdida de 11.11% de la efectividad de la voladura que representa 17,82 ton de mineral lo que elevaría el costo de la voladura.

Tabla 22 Evaluación del avance y rendimiento de la voladura para perforación mecanizada

DESCRIPCION	DATOS
Ancho de frente (m):	6
Altura del frente (m):	3.3
Dens. de la Roca (t/m3):	3
Long. de Perforación (m):	3
avance de la voladura (m):	2.4

ANALISIS DE RESULTADOS		
Avance calculado por voladura	Avance logrado por voladura	Efectividad de la voladura %

2.7	2.4	80	
Producción calculada por voladura (toneladas)	Producción por voladura en avance logrado (toneladas/voladura)	Perdidas en la voladura en (toneladas)	Perdidas en la voladura en (toneladas por mes)
160.38	142.56	17.82	442
Porcentaje efectividad voladura (%)		Porcentaje de pérdida de efectividad	
100	88.89	11.111	

Tabla 23 Evaluación del avance y rendimiento de la voladura para perforación manual

DESCRIPCION	DATOS
Ancho de frente (m):	5.5
Altura del frente (m):	3.3
Dens. de la Roca (t/m ³):	3
Long. de Perforación (m):	1.8
avance de la voladura (m):	1.4

Avance calculado por voladura	Avance logrado por voladura	Efectividad de la voladura %	
1.62	1.4	77.8	
Producción calculada por voladura (toneladas)	Producción por voladura en avance logrado (toneladas/voladura)	Perdidas en la voladura en (toneladas)	Perdidas en la voladura en (toneladas por mes)
88.209	76.23	11.98	311.5
Porcentaje efectividad voladura(%)		porcentaje de pérdida de efectividad	
100	86.42	13.6	

Lista de referencias

- López Jimeno, Carlos, Manual de voladuras en túneles, Madrid. 2010.
- Exsa S.A, ISO 14 000., Manual práctico de voladura.
- López Jimeno. Manual de perforación y voladura de roca. Instituto Geo minero de España
- Bernaola Alonso, Castilla Gómez y Herrera Herbert. Perforación y voladura de rocas en minería. Departamento de explotación de recursos minerales y obras subterráneas, laboratorio de tecnologías mineras de España. 2013
- Reyes Ch.y Valentino M. Geología del yacimiento y variabilidad de las características geomecánicas del mineral de hierro en la región paz vieja
- HOPLER, Robert. Manual del especialista en voladura. Ohio USA, 2008.
- Hermelin. M. Rocas, suelos y formaciones superficiales, Dyna, Little. Al, 1969
- Norma ASTM D420. Guía para la caracterización geotécnica de terrenos.
- Norma Sismoresistente Colombiana. Título H.
- Martinez Montes, Cerro Grau, Alegre Bayo, Ordoñez García. Análisis y evaluación de riesgos de túneles carreteros en explotación, Revista Ingeniería de construcción vol. 22, Colombia. 2007.
- Ponce Muriel Álvaro, panorama del sector minero, UPME – Unión Temporal Universidad Nacional y Fundación Bariloche Política Energetica, PEN, Bogotá – Colombia. 2010.
- Rodríguez Cesar, Diagnostico Hidrológico, Pontificia universidad javeriana, Colombia. 2005.

Ojeda Mestas Rene, Diseño de mallas de perforación y voladura subterránea aplicando un modelo matemático de áreas de influencia, Perú. 2008.

Arismendy Peña, Berrio Clavijo, Morales Quiroga, propuesta de implementación del sistema integral de gestión para la estandarización, control y seguimiento en el proceso productivo de trituración de mineral de hierro en paz del río – votorantim siderúrgica, Bogotá – Colombia. 2012.

Ingeniería, Geología y Perforaciones IGP Ltda., Geología, geomorfología e hidrología en municipio de Faravitoba, Colombia.

Rubiano Eliana, Rozo Sandra, Becerra Oscar, La minería en Colombia: impacto socioeconómico y fiscal, fededesarrollo, cámara asomineros de la ANDI, Bogotá – Colombia. 2008.

Instituto Tecnológico Geominero de España, Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto.

Barros Alvaro, Zuluaga Kelys, Preinforme campo II “Minas acerías paz del río”. Colombia.

Métodos de excavación de túneles mediante perforación y voladura. URL <http://www.fierasdeingenieria.com/metodos-de-excavacion-de-tuneles-mediante-perforacion-y-voladura/>

Almacenamiento instrucción itc. 10.1-01 1. Depósitos y polvorín. URL <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1986-8990>

Almacenamiento de explosivos. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2029/Capitulo3.pdf>

Mina de hierro el uvo – pernos. URL <http://www2.montes.upm.es/Dptos/dsrn/Edafologia/aplicaciones/GIMR/archive.php?q=49fe62b8a99>

Escuela de Ingeniero Militares

Acerías Paz del Rio

El colombiano

Ministerio de minería

Indumil

Material de explosivos universidad militar nueva granada

El tiempo

La FM radio

Vita

Karen Susana Mariño Marulanda, nacida y criada el 16 de septiembre de 1989 en la ciudad de Bogotá D.C. Colombia, su madre Martha Marulanda es de Manizalez-Caldas y su difunto padre Cesar Mariño de Bogotá D.C.; procedente de familia humilde y trabajadora.