



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

MEJORA DE PROCESOS EN MINERA SAN RAFAEL S.A.

Luis Alfredo García Alarcón
Asesorado por la Inga. Sigrid Calderón

Guatemala, marzo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MEJORA DE PROCESOS EN MINERA SAN RAFAEL S.A.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS ALFREDO GARCIA ALARCÓN

ASESORADO POR LA INGA. SIGRID CALDERÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MARZO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
EXAMINADORA	Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

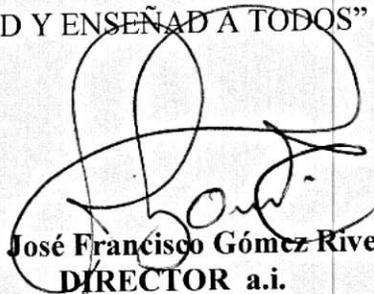


FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.032.017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **MEJORA DE PROCESOS EN MINERA SAN RAFAEL S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Luis Alfredo García Alarcón**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, marzo de 2017.

/mgp



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **MEJORA DE PROCESOS EN MINERA SAN RAFAEL S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Luis Alfredo García Alarcón**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, enero de 2017.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 23 enero de 2017.
REF.EPS.D 23.01.17

Ingeniero
Juan José Peralta
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Presente

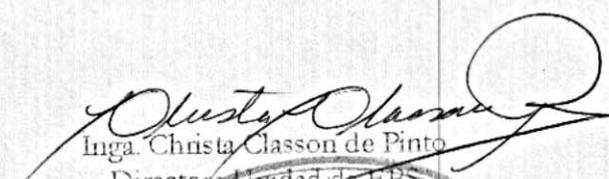
Estimado Ing. Peralta:

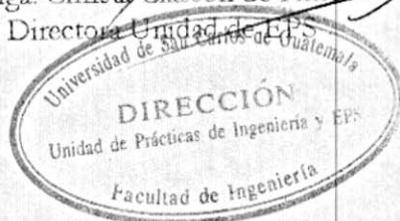
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **MEJORA DE PROCESOS EN MINERA SAN RAFAEL S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Luis Alfredo García Alarcón** quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de León.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora-Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS



CCdP/ra



Guatemala, 23 enero de 2017.
REF.EPS.DOC.32.01.17.

Ingeniera
Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Inga. Classon de Pinto:

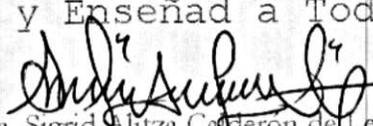
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Industrial, **Luis Alfredo García Alarcón**, Camé No. **200915604** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **MEJORA DE PROCESOS EN MINERA SAN RAFAEL S.A.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Sigríd Alitza Calderón de León
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Mecánica Industrial

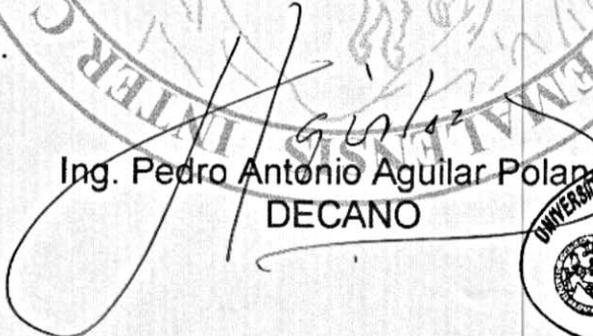


SACDL/ra



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **MEJORA DE PROCESOS EN MINERA SAN RAFAEL S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Alfredo García Alarcón**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO



Guatemala, marzo de 2017

/cc

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MEJORA DE PROCESOS EN MINERA SAN RAFAEL S.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha octubre de 2014.

Luis Alfredo Garcia Alarcón

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su bendición y sabiduría.
Mis padres	Miriam Alarcón y Calvin Garcia, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional y por guiarme a lo largo de mi vida.
Mis hermanos	Mario, Wilber y Javier, por su cariño y apoyo incondicional, que sea fuente de inspiración para ser mejores cada día.
Mis tíos	En especial a Corina Garcia, por su cariño, consejos y apoyo durante toda mi vida.
Mi novia	Lourdes Solís, por el amor, apoyo y momentos felices que hemos vivido juntos.
Mis amigos	Por su amistad, ayuda, consejos y buenos momentos que compartimos durante la vida universitaria.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por brindarme la educación superior y enseñarme la realidad de Guatemala para poder aportar en su desarrollo.

Facultad de Ingeniería

Por ser la fuente de conocimientos en ingeniería y de las herramientas necesarias para ejercer como un profesional con ética.

**Mis amigos de la
facultad**

Axel Arreaga, Roberto Bolívar, Jorge Nij, Erika Moran, Pilar López, Nina Calderón, Melany Maldonado, Sara Cruz y demás amigos, por esos momentos de calidad que me hicieron crecer como persona.

Mi asesora

Inga. Sigrid Calderón, por su gran ayuda y consejos en el transcurso del proyecto.

Ing. Julio Rangel

De MSR, por la colaboración y gran ayuda para la ejecución del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES DE MINERA SAN RAFAEL S.A.	1
1.1. Descripción general de la empresa	1
1.2. Misión	2
1.3. Visión.....	2
1.4. Valores	2
1.5. Principios de la empresa	2
1.6. Organigrama.....	3
1.7. Seguridad e higiene industrial	4
1.8. Mina subterránea.....	6
1.8.1. Área de desarrollo	7
1.8.2. Área de producción.....	7
1.8.3. Área de relleno de cámaras.....	8
2. MEJORA DE PROCESOS EN MINERA SAN RAFAEL S.A.	9
2.1. Antecedentes.....	9
2.2. Diagnóstico de la situación actual de desarrollo de mina subterránea	11
2.2.1. Análisis FODA	12

2.2.2.	Diagrama causa – efecto.....	15
2.2.3.	Replanteo	18
2.2.4.	Perforación	18
2.2.5.	Carga de explosivos	19
2.2.6.	Ventilación.....	20
2.2.7.	Desescombro	20
2.2.8.	Sostenimiento.....	21
2.3.	Estudio del trabajo.....	21
2.3.1.	Estudio de los métodos de los procesos	22
2.3.1.1.	Perforación	23
2.3.1.1.1.	Método de trabajo	23
2.3.1.1.2.	Maquinaria	26
2.3.1.1.3.	Materiales.....	27
2.3.1.2.	Carga de explosivos.....	27
2.3.1.2.1.	Método de trabajo	27
2.3.1.2.2.	Maquinaria	31
2.3.1.2.3.	Materiales.....	31
2.3.1.3.	Sostenimiento.....	36
2.3.1.3.1.	Método de trabajo	36
2.3.1.3.2.	Maquinaria	39
2.3.1.3.3.	Materiales.....	40
2.3.2.	Estudio de tiempos de procesos	41
2.3.2.1.	Procedimiento para la medición del trabajo	42
2.3.2.2.	Medición de tiempos de perforación.....	48
2.3.2.3.	Medición de tiempos de carga de explosivos.....	57
2.3.2.4.	Medición de tiempos de sostenimiento	64

2.4.	Indicadores de los procesos de excavación subterránea	72
2.4.1.	Indicador de eficiencia de voladura	73
2.4.2.	Indicador de consumo específico de explosivo.....	74
2.4.3.	Indicador de consumo de pernos en sostenimiento.....	75
2.4.4.	Indicador de consumo de mallas en sostenimiento.....	77
2.5.	Mejoras ejecutadas	78
2.5.1.	Sistema de control de aceros de perforación.....	78
2.5.1.1.	Aceros	79
2.5.1.2.	Codificación	84
2.5.1.3.	Formato de control.....	89
2.5.1.4.	Taller de afilado	91
2.5.1.5.	Afilado de brocas	92
2.5.1.6.	Procedimiento operativo	94
2.5.2.	Plantillas de perforación estándar.....	97
2.5.2.1.	Frente de sección 6m–5m	97
2.5.2.2.	Frente de sección 5m–5m	100
2.5.2.3.	Desquinche 5m – 5m.....	102
2.5.3.	Técnicas y secuencia de perforación.....	103
2.5.4.	Sistema de control de explosivos	104
2.5.4.1.	Formato de control.....	105
2.5.4.2.	Carga de explosivo estándar	107
2.5.4.3.	Procedimiento operativo	109
2.5.5.	Plantillas de carga de explosivos.....	111
2.5.5.1.	Frente de sección 6m–5m	112
2.5.5.2.	Frente de sección 5m–5m	114
2.5.5.3.	Desquinche 5m–5m.....	116
2.5.6.	Clases de sostenimiento.....	118

2.5.7.	Técnicas de sostenimiento	118
2.6.	Evaluación de las mejoras	121
2.7.	Costos de la propuesta	127
3.	FASE DE INVESTIGACIÓN PLAN DE AHORRO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA VENTILACION DE MINA SUBTERRÁNEA	129
3.1.	Diagnóstico de ventilación de mina subterránea	129
3.2.	Evaluación de consumo de energía eléctrica	134
3.3.	Plan de ahorro propuesto	136
3.4.	Costo de la propuesta	137
4.	PLAN DE CAPACITACIÓN	141
4.1.	Diagnóstico de necesidades de capacitación	141
4.2.	Plan de capacitación	143
4.3.	Resultados de la capacitación	150
4.4.	Costos de la propuesta	153
	CONCLUSIONES	155
	RECOMENDACIONES	159
	BIBLIOGRAFÍA	161

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama Minera San Rafael S.A.	4
2.	Diagrama causas-efecto	16
3.	Ciclo de excavación subterránea	17
4.	Diagrama de operaciones del proceso de perforación	25
5.	Maquinaria utilizada para perforación (jumbo)	26
6.	Brocas utilizadas para la perforación de área de mina subterránea	27
7.	Diagrama de operaciones del proceso de carga de explosivos	30
8.	Maquinaria utilizada para carga de explosivos.....	31
9.	ANFO	32
10.	Emulsiones.....	33
11.	Detonadores LP	34
12.	Cordón detonante	35
13.	Diagrama de operación del proceso de sostenimiento de excavación subterránea	38
14.	Maquinaria utilizada para sostenimiento (boltec)	39
15.	Materiales de sostenimiento (mallas y pernos tipos swellex)	41
16.	Análisis del proceso de perforación	54
17.	Análisis del proceso de sostenimiento	71
18.	Ensamble de aceros de perforación del jumbo	79
19.	Ensamble de aceros de perforación del boltec	80
20.	Acople utilizado en mina subterránea para jumbo	81
21.	Acople utilizado en mina subterránea para jumbo	82
22.	Barra utilizada en mina subterránea para jumbo.....	83

23.	Brocas utilizadas en mina subterránea	84
24.	Ejemplo de marcaje de aceros	88
25.	Formato de control de aceros para jumbo y boltec	89
26.	Formatos de control de aceros de simba de producción y cables	90
27.	Taller de afilado de brocas.....	92
28.	Contenedor de taller de afilado y control de aceros.....	92
29.	Afiladora de brocas con copas de afilado intercambiables	93
30.	Demostración de broca de 45 mm afilada del botón periférico	94
31.	Procedimiento operativo de control de aceros MSR	95
32.	plantilla de perforación de frentes de 6m x 5m	99
33.	Plantilla de perforación de frentes de 5m x 5m	101
34.	Plantilla de perforación de des quinche 5m x 5m.....	103
35.	Vale de consumo de explosivos.....	106
36.	El procedimiento se muestra a continuación: Procedimiento de control de explosivos MSR	109
37.	Plantilla de carga para secciones de 6m x 5m.....	113
38.	Plantilla de carga para secciones de 5m x 5m.....	115
39.	Plantilla de carga para desquinche de 5m x 5m	117
40.	Instalación correcta de pernos para mallas de protección	119
41.	Flujo de aire para ventilación natural	131
42.	Levantamiento de ventilación MSR.....	133

TABLAS

I.	Análisis FODA para MSR	13
II.	Factores de nivelación para determinar el tiempo normal	45
III.	Suplementos para determinar el tiempo estándar	46
IV.	Tiempos de subproceso de perforación.....	48
V.	Tiempos de proceso de perforación.....	50

VI.	Suplementos para a utilizar para el proceso de perforación	52
VII.	Actividades dentro del proceso ajenas a la perforación	53
VIII.	Diagrama hombre-máquina del proceso de perforación	56
IX.	Tiempos de los subprocesos de carga de explosivos	57
X.	Procesos de carga de explosivos.....	59
XI.	Suplementos para carga de explosivos.....	62
XII.	Tiempos de los subprocesos de sostenimiento.....	64
XIII.	Proceso de sostenimiento	66
XIV.	Suplementos para proceso de sostenimiento	69
XV.	Actividades dentro del proceso ajenas al sostenimiento	70
XVI.	Asignación de códigos para cada tipo de acero	86
XVII.	Asignación de nomenclatura para cada mes	87
XVIII.	Descripción de barrenos para sección 6m-5m	98
XIX.	Descripción de barrenos para sección 5m – 5m	100
XX.	Descripción de barrenos para sección 5m-5m	102
XXI.	Estándar de carga para todos los tipos de barrenos.....	108
XXII.	Numeración de detonadores LP.....	112
XXIII.	Numeración de detonadores LP.....	114
XXIV.	Numeración de detonadores LP.....	116
XXV.	Evaluación con el indicador de eficiencia de voladuras	122
XXVI.	Evaluación con el indicador de consumo específico de explosivos....	124
XXVII.	Evaluación con el indicador de consumo de mallas de sostenimiento	125
XXVIII.	Evaluación con el indicador de consumo de pernos de sostenimiento	126
XXIX.	Costos del proyecto.....	127
XXX.	Evaluación de consumo de energía eléctrica de ventiladores.....	135
XXXI.	Beneficio 1: ahorro de energía eléctrica en voladuras	138
XXXII.	Beneficio 2: ahorro de energía eléctrica en el turno.....	138

XXXIII.	Costo: salario del personal	139
XXXIV.	Análisis FODA de necesidades de capacitación.....	142
XXXV.	Tabla de priorización de temas detectados	144
XXXVI.	Cronograma de capacitaciones	149
XXXVII.	Costos de plan de capacitación	153

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	<i>Horse power</i> , del inglés, caballos de fuerza
Kw h	Kilo watts hora
Kw	Kilo watts
Mpa	Mega pascales

GLOSARIO

Anfo	<i>Ammonium nitrate – fuel oil</i> , es una explosión de alto orden. Consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo, desde gasolina a aceites de motor.
Boltec	Equipo hidráulico móvil que se utiliza para el sostenimiento de frentes de trabajo en excavación subterránea. En este proyecto consta de dos brazos hidráulicos: el primero para la perforación del barreno y el segundo para la instalación de pernos tipo swellex para el anclaje del terreno.
Cebar	En el campo de los explosivos, es el acto de colocar un detonador o iniciador dentro de un alto explosivo, para que este lo inicia y se realice la detonación.
Desarrollo	En minera, la excavación subterránea que se realiza con el objetivo de llegar al mineral. Rampas, niveles, accesos, etc.
Detrito	Cada una de las partículas que resultan de la descomposición de una roca al barrenarla y que sale de un agujero en perforación por medio del barrido.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima.

El Escobal	Es el nombre propio que se le asigna al proyecto en Minera San Rafael S.A. y que fuera otorgado debido al nombre de la quebrada que atraviesa el proyecto; ubicado en San Rafael las Flores, Santa Rosa, Guatemala.
Jumbo	Equipo hidráulico móvil que se utiliza para la perforación de frentes en excavación subterránea. En este proyecto consta de dos brazos hidráulicos para la perforación.
Ley de corte	Proporción de minerales en la roca que se extrae que tiene la suficiente cantidad de mineral para se obtenga ganancia en el proceso.
Mantenimiento preventivo	Conjunto de ajustes y prácticas realizadas en un componente con la finalidad de disminuir reparaciones futuras.
Mantenimiento correctivo	Realizar la reparación de varios componentes que fallaron a causa de otro componente en mal estado.
Material estéril	Material que sale de la mina subterránea producto de voladuras y que no contiene mineral.
Material mineral	Material que sale de la mina subterránea producto de voladuras y que contiene mineral en proporciones por encima de la ley de corte.

MEM	Ministerio de Energía y Minas.
Mina subterránea	Es el nombre que se le da a la mina de donde se extrae los materiales, y que en este proyecto es subterránea ya que se debe de excavar para poder alcanzar la meta de material mineralizado.
MSR	Minera San Rafael S.A.
Perno swellex	Es un tipo de perno que se utiliza en el sostenimiento del terreno de un túnel y que se ancla al terreno mediante una presión de agua ejercida de 300 Bar dentro del perno, lo que hace que se infle y se acomode a las fracturas del terreno, sujetando el terreno de una forma eficiente.
Polvorín	Lugar preparado para guardar pólvora y otras sustancias explosivas. En este proyecto, el almacén subterráneo donde se almacenan los explosivos.
Producción	En minería, la actividad que se dedica a la perforación de tiro largo, explotación de minerales y extracción de material mineralizado hacia la superficie.

RESUMEN

Anualmente, empresas mineras realizan inversiones de capital para mejorar sus procesos mediante nuevas tecnologías, remplazo de equipos, disminución de costos de producción y aumentos de producción.

El alcance de este trabajo comprende la evaluación interna del proceso actual, actividades y responsabilidades de los involucrados en el diseño, formulación y seguimiento de los procesos y proyectos de San Rafael S.A., con el objetivo de realizar mejoras y ejecutar proyectos que se consideren un soporte en la gestión de gerencia para liderar, integrar, evaluar y facilitar la realización de los procesos, con el fin de velar por el cumplimiento de las promesas realizadas por parte de operaciones de la mina.

La metodología utilizada responde a un levantamiento del proceso operativo de Minera San Rafael S.A., utilizando como base las actividades y los resultados del proceso que se realiza actualmente. Se detalla y clasifica cada actividad bajo un enfoque basado en procesos, fundado en la descripción y análisis de cada una; de esta forma identificar brechas y deficiencias de proceso actuales. Así, a partir de esto y bajo el mismo enfoque, realizar las mejoras.

Dentro de las principales mejoras ejecutadas durante el proyecto se encuentra, el sistema de control de aceros de perforación, el sistema de control de explosivos de mina y las plantillas de perforación y carga de explosivos estándar para las diferentes secciones de excavación.

Finalmente, se propone la base para la formulación de la propuesta de ahorro en el consumo de energía eléctrica en la ventilación de mina subterránea y la ejecución de un plan de capacitación proyectado a enriquecer el conocimiento teórico del proceso de excavación subterránea dirigido al personal operativo de la mina subterránea.

OBJETIVOS

General

Mejorar los procesos de desarrollo de la mina subterránea mediante la ejecución de proyectos que aprovechen las áreas de oportunidad identificadas.

Específicos

1. Realizar un análisis del estudio del trabajo de los procesos de desarrollo de mina subterránea.
2. Desarrollar soluciones económicamente viables para la mejora de los procesos de desarrollo de mina subterránea.
3. Generar indicadores que midan el estado actual y futuro de los procesos de desarrollo de mina subterránea.
4. Ejecutar proyectos de mejora en los procesos de desarrollo de la mina subterránea basados en el estudio de los métodos de trabajo y/o métodos de la minería moderna.
5. Garantizar que mediante los proyectos ejecutados se percibirán mejoras, consiguiendo la misma o mejor calidad de obra en la excavación subterránea.

6. Realizar una propuesta de ahorro de energía eléctrica en la ventilación de la mina subterránea.
7. Capacitar al personal operativo acerca de técnicas de excavación subterránea moderna.
8. Capacitar al personal operativo acerca de los proyectos de mejora a ejecutar en desarrollo de mina subterránea para hacer eficiente la implementación.

INTRODUCCIÓN

Minera San Rafael S.A., con el proyecto El Escobal, inicia la excavación subterránea en el segundo semestre del 2011, y se declara en producción al inicio del 2014, con una proyección de explotación de 20 años.

Según las metas establecidas por la empresa, la mina subterránea debe de realizar sus operaciones buscando la eficiencia y mejorando la productividad en las actividades que realiza a diario, es por eso que se deben de identificar proyectos que estimulen la mejora continua.

El proyecto se basa en la mejora de los procesos de la mina subterránea para el aumento de la productividad, debido a esto el objetivo perseguido es aumentar la eficiencia de los procesos y subprocesos que incluye la excavación subterránea.

El presente documento contiene un diagnóstico de la situación actual, utilizando herramientas de ingeniería que contribuyan a identificar deficiencias y puntos críticos en los procesos para poder desarrollar soluciones.

Justifica, formula y delimita las causas que originan el problema que dio lugar a la realización de proyecto y establece los parámetros, con los cuales se trazan los objetivos.

Se hace el uso del estudio del trabajo y sus herramientas, el estudio de los métodos y la medición del trabajo; para estudiar diferentes aspectos claves para la determinación de las mejoras a implementar para darle solución a las

deficiencias identificadas y se detallan las fases del ciclo para la excavación subterránea como parte teórica base del proyecto.

Se describe, ¿qué es un indicador?, ¿para qué sirve? y, ¿quién lo utiliza?, y se desarrollan indicadores de procesos para controlar las operaciones en determinado momento como parte un sistema administrativo.

El proyecto se divide en tres fases: fase de servicio técnico profesional, fase de investigación y fase de docencia.

La fase de servicio técnico profesional es la fase que se ejecutará basada en la mejora de los procesos de desarrollo de la minera San Rafael S.A.

La fase de investigación es una propuesta técnica para la empresa aplicando los conceptos de producción más limpia y trata sobre el ahorro en el consumo de energía eléctrica en la ventilación de la mina subterránea.

La fase de docencia está ligada a la fase de servicio técnico profesional y se trata de un plan de capacitaciones a nivel operativo de temas que contribuyan a enriquecer el conocimiento y las técnicas que se aplican y que se aplicarán el desarrollo de la mina.

1. GENERALIDADES DE MINERA SAN RAFAEL S.A.

Minera San Rafael, .S. A. es una Sociedad Mercantil, constituida el 10 de abril de 2010. Es una filial de Tahoe Resources Inc., compañía canadiense con sede en Reno, Nevada. Actualmente, Minera San Rafael, S.A. su objetivo principal es la extracción de toda clase de minerales, por medio de una operación segura y ambientalmente responsable, contribuyendo al desarrollo de las comunidades vecinas.

1.1. Descripción general de la empresa

Minera San Rafael S.A., de aquí en adelante se llamará MSR, con el proyecto El Escobal se dedica a la extracción, tratamiento y comercialización de minerales metálicos. A la extracción por métodos de minería subterránea y al tratamiento mediante métodos de flotación de diferentes especies minerales con la obtención final de concentrados de plomo (plata) y zinc.

MSR se encuentra ubicada en el municipio de San Rafael Las flores, departamento de Santa Rosa, Guatemala; sobre el kilómetro 97.5 carretera a Matequesuintla, Jalapa y cuenta con un aproximado de 900 colaboradores que en su mayoría son nacionales y procedentes de aldeas y municipios aledaños.

El Escobal comienza su etapa de construcción en el segundo semestre del 2011, esta fase tuvo una duración de aproximadamente dos años y medio, declarándose el inicio de producción en enero de 2014 y la proyección de vida del proyecto se estima en aproximadamente 20 años.

1.2. Misión

Extraer materiales preciosos de forma social, ambiental y económicamente responsable, generando valor para los accionistas, colaboradores y las comunidades.

1.3. Visión

Ser la compañía que establece el estándar en minería y actúa como motor para el desarrollo y crecimiento sostenible (económico y social) de las regiones y países en las que opera.

1.4. Valores

- Integridad
- Transparencia
- Respeto
- Responsabilidad
- Excelencia

1.5. Principios de la empresa

- La seguridad industrial es primero: si un trabajo no es seguro, no lo haga
- La protección y mejoramiento del ambiente
- El desarrollo sostenible de las poblaciones donde se opera
- La producción y eficiencia de los procesos

1.6. Organigrama

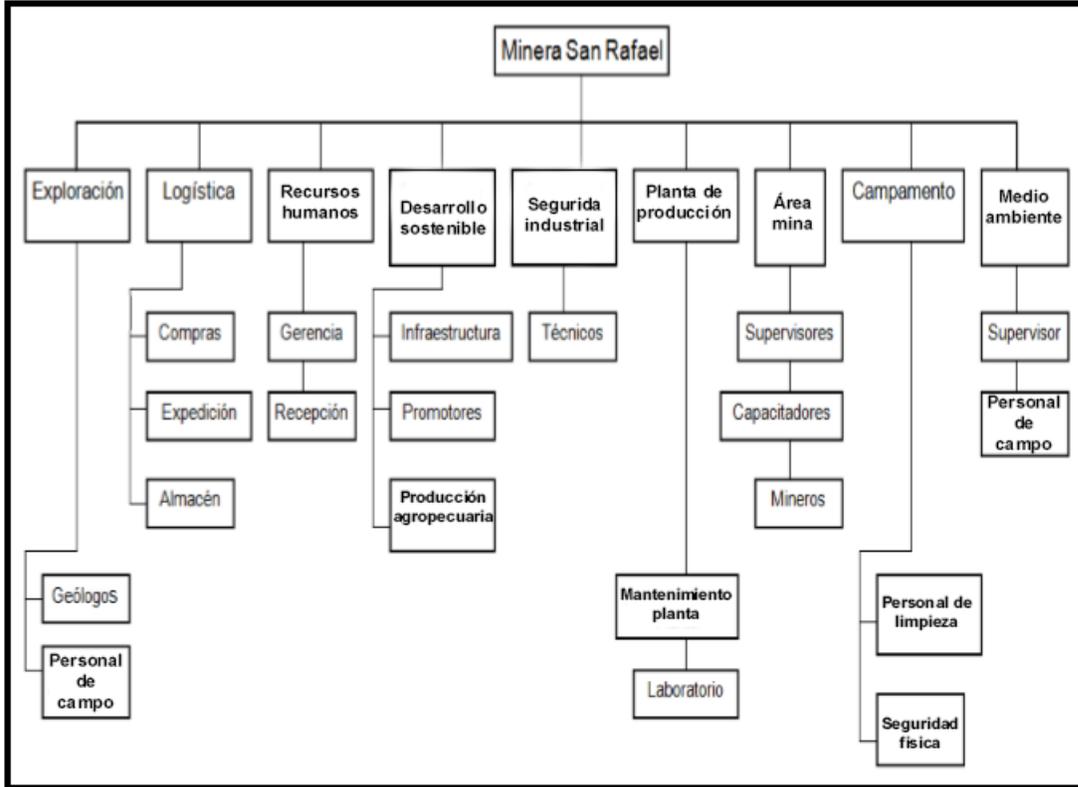
Actualmente, la empresa posee una conformación por su naturaleza microadministrativa, su representación gráfica es para una estructura organizacional funcional, conformada por departamentos.

Los departamentos están integrados por gerentes, jefes, supervisores, auxiliares, operarios y secretarias. El personal de la empresa obedece a las instrucciones de su jefe inmediato según el área del departamento al que pertenece.

En el organigrama de la empresa se representan las estructuras departamentales, las áreas en que se divide cada uno y sus relaciones jerárquicas de autoridad.

El organigrama puede tener cambios debido a que aún no está contratado todo el personal previsto que trabajará en cada departamento. La minera tiene un gerente general que actúa como representante legal de la empresa, encargado de dar su aprobación en la contratación del personal.

Figura 1. Organigrama Minera San Rafael, S. A.



Fuente: elaboración propia.

1.7. Seguridad e higiene industrial

La producción es esencial para los proyectos extractivos, pero igual de importante es velar por la seguridad y salud de sus trabajadores y los pobladores de los alrededores. Es por esto que todas las empresas de esta industria cuentan con planes y procedimientos que van orientados a la minimización y prevención de riesgos en todas las áreas de trabajo.

La gestión de prevención de riesgos implementada en MSR, se basa en la metodología IPER que por sus siglas significa: identificación de peligros y Eliminación de Riesgos.

Cuando se tienen identificados los riesgos de algún área o los riesgos de cualquier tipo de incidente ocurrido, se proceden a aplicar controles que por orden deben ser controles duros y controles suaves. Los controles duros por su orden de utilización son: eliminación del riesgo, reducción del riesgo y diseños de ingeniería para la prevención; los controles suaves por su orden de utilización son: políticas, procedimientos y por último el uso del EPP que por sus siglas significa: equipo de protección personal.

Una parte importante de la seguridad industrial es la capacitación constante, para que los trabajadores estén entrenados y puedan realizar las tareas que se les asignan de forma eficiente y segura. La seguridad es responsabilidad de todos, por lo que el factor más importante es el compromiso a todo nivel de la escala jerárquica: gerencia general, gerencias de departamentos, supervisores y personal administrativo operativo en general.

Los compromisos con la seguridad industrial son los siguientes:

- Asegurar que los planes de respuesta de emergencia y de primeros auxilios estén disponibles en todo momento.
- Asegurar que los empleados trabajen de forma segura y con equipo de protección personal requerido para cada operación.
- Asegurar que los reportes de accidentes se completen de una forma expedita.

- Solucionar todos los hallazgos de salud y seguridad identificados con eficiencia y prontitud.
- Realizar revisiones periódicas y reportar los requerimientos y necesidades que se tengan en la empresa para asegurar que las políticas y procedimientos de salud y seguridad se estén cumpliendo.

1.8. Mina subterránea

La mina subterránea tiene como finalidad la extracción del material que contiene el mineral que proyecta la veta El Escobal, para poder dirigirlo a superficie y con este, poder iniciar en la planta de procesos las actividades para entregar como producto final, concentrado de plomo (plata) y zinc.

El proceso de minado en MSR consiste en la explotación de la veta de mineral en cámaras que atraviesan la veta de forma perpendicular con dimensiones de 10 m de ancho por 25 m de alto y un promedio de 25 m la longitud de veta. Las cámaras se minan con perforación de tiro largo y voladuras de nivel a nivel donde trabaja por el nivel superior y se rezaga por el nivel inferior.

La mina subterránea tiene operaciones continuas, lo que significa que, se cuenta con turnos de trabajo con jornada diurna y jornada nocturna y con tres grupos de trabajo que realizan los turnos rotativamente. La rotación de turnos de trabajo de un grupo consiste en 6 días de trabajo en jornada diurna seguido de 3 días de descanso; luego, 6 días de trabajo en jornada nocturna seguido de 3 días de descanso; con esta rotación se logra cubrir la demanda de la operación continua y poder tener una relación de 2 días de trabajo por 1 de descanso.

En una jornada de operación normal se tiene un promedio de 80 personas que ingresan a mina subterránea, entre los que se encuentran personal de producción, desarrollo, mantenimiento, servicios, construcción, planta de relleno, electricistas, geología, planificación, contratistas y visitas.

La mina subterránea para su operación se divide en tres áreas principales: desarrollo, producción y la planta de relleno de cámaras minadas.

1.8.1. Área de desarrollo

Área de mina que se dedica a la excavación subterránea de la mina por el método de perforación y voladura para poder acceder a la veta perpendicularmente. Realiza las rampas principales, niveles, accesos a mineral, sumideros de bombeo de agua, sitios para subestaciones eléctricas y en general toda excavación requerida por la mina para su óptimo funcionamiento. Para poder realizar dichas tareas cuenta con máquinas perforadoras (jumbos), para sostenimiento (boltec), carguío de frentes (Mclean de explosivos) y cargadores de bajo perfil (scoop o LHD).

1.8.2. Área de producción

Área de mina que se dedica a la extracción del mineral de la veta El Escobal hacia la superficie. Para ello, debe realizar la perforación de tiro largo de nivel a nivel sobre la veta de mineral y realizar las voladuras correspondientes. Cuenta con dos tipos de máquinas de perforación: para tiro largo (simba y cubex) y una máquina (simba) de perforación para sostenimiento de cámaras con cables, para la extracción del material mineralizado y el material estéril, cuenta con cargadores de bajo perfil (Scoop) y camiones de

bajo perfil para la extracción del material hacia la superficie (camiones articulados con capacidad para 45 toneladas).

1.8.3. Área de relleno de cámaras

Área de mina que se dedica al relleno de las cámaras abiertas que han sido minadas. Estas se rellenan con pasta (material compuesto por residuos del material procesado por la planta de procesos y que ya no contiene mineral y que se le adhiere diferentes porcentajes de cemento). Cuenta con una planta a la cual llegan los residuos de material procesado y se realiza la mezcla con cemento y agregados especiales, una vez terminada la mezcla se procede a ser bombeada hacia las cámaras que ya han sido explotadas desde la planta hasta la cámara por medio de tuberías subterráneas metálicas y plásticas (HDPE) de 8 pulgadas de diámetro interior.

2. MEJORA DE PROCESOS EN MINERA SAN RAFAEL, S. A.

2.1. Antecedentes

- **Justificación**

Según las metas establecidas por la empresa, la mina subterránea debe realizar sus operaciones buscando la eficiencia y mejorando la productividad en las actividades que realiza a diario, es por eso que se deben identificar proyectos que estimulen la mejora continua.

Adicionalmente se requiere por parte de gerencia que se evalúen áreas de oportunidad en las cuales se pueda disminuir los costes de operación, ya que es necesario mejorar procesos y subprocesos para el desarrollo de la mina y de esa manera contribuir a una mejor gestión en la operación.

MSR, al ser una mina de primer nivel, requiere del desarrollo de indicadores que puedan medir los procesos, con los cuales se puedan establecer parámetros cuya base servirá para medir el estado de las operaciones desde el diagnóstico y medir las mejorar en cualquier momento como parte del proceso de control de la administración.

- **Planteamiento del problema**

MSR, al ser una mina relativamente nueva, posee incompletos los procedimientos de operación de mina subterránea y áreas de oportunidad de

mejora en los procesos excavación y control en los materiales de mayor consumo en operación, con el fin de aumentar la productividad.

- Delimitación

Evaluar los procesos de desarrollo de mina subterránea, mediante un diagnóstico inicial, una evaluación del estudio del trabajo aplicando las herramientas de método de trabajo, medición del tiempo estándar y técnicas de excavación subterránea moderna.

Establecer indicadores para lograr medir el estado de los procesos inicialmente y al finalizar el proyecto y presentar las propuestas de proyectos de mejora con base en los resultados anteriormente mencionados.

Evaluar la viabilidad de las propuestas con la gerencia y de esa manera ejecutar las mejoras que contribuyan al aumento de la productividad de las operaciones de mina subterránea.

- Alcance

Al finalizar el proyecto del ejercicio profesional supervisado, por medio de los indicadores de procesos poder medir y percibir mejoras en los procesos de desarrollo de perforación, carga de explosivos y sostenimiento; orientados a tener un impacto positivo en la productividad por medio de la disminución de los costos de los recursos disponibles y el aumento de la eficiencia en los resultados de la operación.

2.2. Diagnóstico de la situación actual de desarrollo de mina subterránea

Se entiende por diagnóstico de la situación actual la descripción de lo que sucede al momento de iniciar el estudio dentro de MSR. Este supone, en primer término, una presentación clara y detallada del problema que origina la importancia de elaborar el presente trabajo.

Este proyecto se concentra principalmente en el área de desarrollo de mina subterránea, área que tiene como objetivo realizar la excavación subterránea de la mina por medio de perforaciones y voladura. Tiene la función realizar la excavación y construir las rampas principales, los diferentes niveles, accesos a mineral, sumideros de bombeo de agua, sitios para subestaciones eléctricas y en general toda excavación requerida por la mina para su óptimo funcionamiento.

El primer diagnóstico tiene un enfoque macro de la empresa y la herramienta que se utilizó para realizarlo es el análisis FODA, del cual se identificaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que la empresa tiene y así permitió conocer la situación de la empresa en general, entregando un panorama más amplio del estado actual de la organización.

El segundo diagnóstico tiene un enfoque más interno del área en donde se realizarán las mejoras y la herramienta que se utilizó es el diagrama de causa-efecto; este tiene como alcance todos los procesos de desarrollo de mina, que ayuden a identificar los puntos más críticos hacia donde deben ir dirigidos los esfuerzos de este proyecto.

2.2.1. Análisis FODA

Para la obtención de la información requerida para el análisis FODA se utilizaron dos fuentes: la primera fue la comunicación verbal con el gerente, los supervisores del área de mina subterránea y el personal del área operativa, con los que se interactuó durante la realización del proyecto. Esta primera fuente de información es bastante fiable ya que la fuente de información viene de las personas que conocen la situación en la que se encuentran actualmente y cuáles son sus expectativas a futuro. La segunda fuente de información fueron documentos que se usan para realizar los procesos y datos históricos proporcionados por gerencia de operaciones de mina.

El análisis tiene como factores internos, las fortalezas y debilidades; y como factores externos, que pueden tener incidencia, se tienen las oportunidades y amenazas que pueden hacer que la empresa se desarrolle, mejore o que se atrase en sus operaciones.

Seguido del análisis FODA, se realiza una estrategia por cada una de las opciones existentes para poder aprovechar las áreas de oportunidad que se identifican y que persiguen el objetivo de minimizar las debilidades y amenazas y maximizar las fortalezas y oportunidades.

El análisis FODA realizado está proyectado para un mediano y corto plazo debido a la naturaleza del proyecto de realizar mejoras palpables al implementar los cambios en los procesos.

Tabla I. **Análisis FODA para MSR**

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • F1 Se tienen valores y principios claramente establecidos. • F2 Operarios cuentan con equipo necesario para realizar sus actividades de manera segura. • F3 Capacidad y disponibilidad de recursos para implementar cambios. • F4 Capacidad y preparación para reaccionar ante casos de siniestros y contingencias. • F5 El índice de Incidentes muestra que se las personas están aprendiendo a trabajar seguras. • F6 la empresa es joven y tiene áreas potenciales de mejora. 	<ul style="list-style-type: none"> • D1 No se cuenta con controles de materiales de consumo masivo en operación de mina, dentro de la operación. • D2 La capacitación es deficiente para el personal operativo. • D3 Carga laboral del personal muy elevada, por lo que cuentan con poco tiempo para realizar otras actividades. • D4 La documentación de procesos existente es escasa. • D5 No existe procedimiento adecuado para realizar la afiladura de las brocas utilizadas.
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • O1 Vetas en terrenos con y el nacimientos minerales cercanos al proyecto Escobal. • O2 Escasez de plata en el mercado internacional. • O3 Potenciales proyectos mineros en cartera. • O4 Escasez de empleo para las comunidades cercanas al proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> • A1 Reformas a las leyes ambientales. • A2 La recesión económica, lo que afecta a la empresa a la inversión. • A3 Nuevos proyectos mineros en la región que afecten el mercado de la plata. • A4 Desastres naturales que afectan las vías de acceso e infraestructura. • A5 Cancelación de la licencia de explotación de las tierras. • A6 Opositores al proyecto minero en los alrededores de la región.

Fuente: elaboración propia.

Se analizaron los factores internos y externos de la empresa que tenían relación y con estas, se procedió a establecer las estrategias que ayudaron a poder plantear posibles proyectos viables de realizar en la empresa.

- Estrategias fortalezas-oportunidades

Estrategia 1: desarrollar proyecto de la mina subterránea y un análisis de carga de trabajo el proceso de per. (F1, F3, F5, O1, O2, O3).

- Estrategias debilidades-oportunidades

Estrategia 2: implementar un plan de capacitación continuo para conocimiento claro de procesos y uso del equipo de mina en los procesos (D2, D4, O1, O4).

- Estrategias fortalezas-amenazas

Estrategia 3: implementar la mejora continua en los procesos por medio de indicadores (F1, F2, F5, A1, A5).

- Estrategias debilidades-amenazas

Estrategia 4. Hacer de conocimiento público las ventajas y benéficos que se obtienen al aceptar proyectos de mina en la región (A1, A5, A6, D3, D5).

Tomando en cuenta el análisis anterior se concluye que la empresa se encuentra en una posición sólida y puede realizar cambios para garantizar sus valores y principios en el desarrollo de sus procesos, cuidando del medio ambiente y su relación con las comunidades circunvecinas.

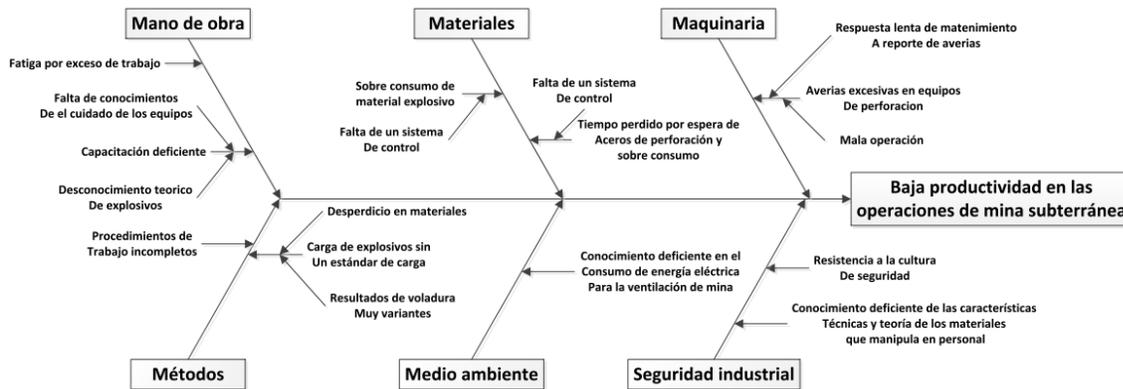
2.2.2. Diagrama causa – efecto

Es una herramienta de lluvias de ideas que le permite investigar las diversas causas que influyen en un efecto específico, así que, con enfoque interno del área de desarrollo de la mina subterránea y con el fin de determinar las causas principales y el efecto o problema que actualmente se encuentra en el área se realiza una evaluación, con la ayuda del diagrama causa-efecto. Este diagrama ejemplifica las necesidades que originan las mejoras a realizar en este proyecto y determinar las causas principales que impactan el problema de las cuales se basarán las soluciones propuestas.

La primera fuente de información fue una serie de entrevistas con el supervisor de producción, supervisor de excavación y operarios de maquinaria de desarrollo (operadores de jumbo, boltec, carguío de explosivos, etc.). La segunda fuente de información fue un periodo de observación de tareas en el área en el cual se identificó desde mi punto de vista las situaciones que tienen oportunidad de mejora.

En el diagrama evaluó las categorías de las 5m; mano de obra, materiales, maquinaria, métodos y medio ambiente; adicionalmente se agrega una categoría a la seguridad industrial como categoría vital para las operaciones en la industria minera.

Figura 2. Diagrama causas-efecto



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

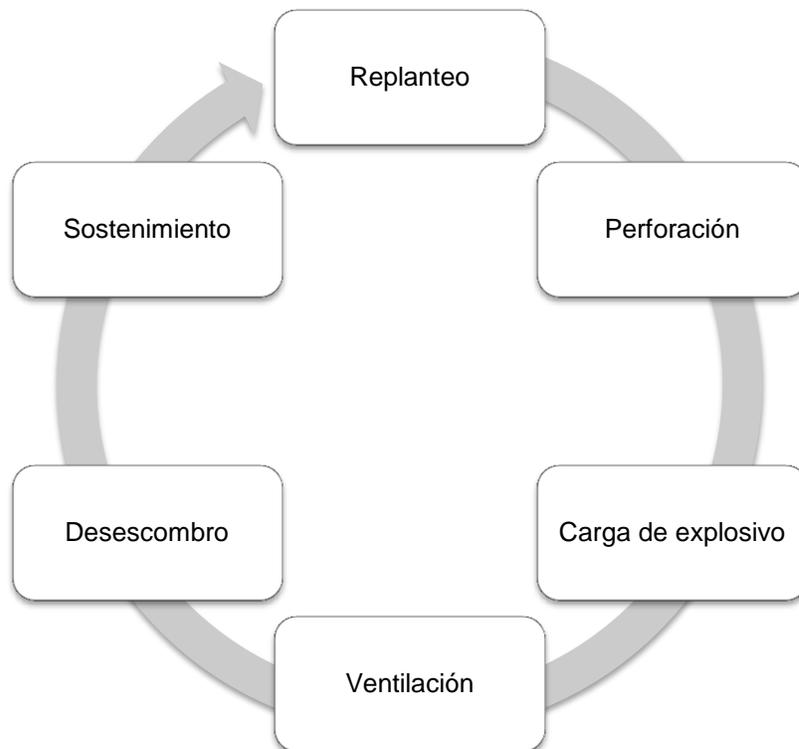
Como se puede observar en el diagrama de causa-efecto, en todas las áreas existen procesos y métodos de trabajo mejorables. Los materiales de mayor consumo en mina son los aceros de perforación y los explosivos, para ambos, no se cuenta con un sistema de control en donde de administre y mida en consumo que se tiene. La mano de obra, necesita capacitación y enriquecer en conocimientos teóricos de las áreas en las que se desenvuelven y poder aplicar estos conocimientos para evitar tener retrasos en la maquinaria por el concepto de una mala operación. Se necesita completar procedimientos de trabajo que sean eficientes y seguros y que estos se transmitan al personal operativo. El consumo de materiales necesita ser medido y con esto poder tener un control sobre cada material.

En general, se tienen áreas y temas que deben ser tratados para poder tener una mejora medible.

Para continuar con el diagnóstico en el área de desarrollo se deben de evaluar cada uno de los procesos del ciclo de excavación subterránea, los cuales se describen a continuación:

- Replanteo
- Perforación
- Carga de explosivos
- Ventilación
- Desescombro
- Sostenimiento

Figura 3. **Ciclo de excavación subterránea**



Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Replanteo

Consiste en realizar el marcaje y el seguimiento de la labor a medida que esta se excava para guiarla adecuadamente. El replanteo se adaptará al ritmo de avance de la excavación para evitar desviaciones que, frecuentemente, son difíciles de corregir.

La primera fase, trabajo de campo, se desarrolla aplicando los métodos topográficos de interior.

En muchas ocasiones no se dispone de un levantamiento topográfico previo de precisión suficiente y a una escala adecuada. En estos casos se realizará un levantamiento exprofeso de la zona lo cual retrasa el proceso ya que si no se tiene el replanteo adecuado los operadores de las máquinas excavadoras no pueden continuar. Los vértices que se hayan marcado y medido para este levantamiento servirán, además, para apoyar los trabajos topográficos de precisión necesarios para realizar el enlace entre puntos de ataque y el replanteo de la obra.

2.2.4. Perforación

En esta operación se realiza la perforación del frente de trabajo partiendo de una secuencia de barrenos estándar y que puede cambiar respecto del terreno que se presente. La perforación se realiza con el jumbo y se perforan aproximadamente 30 metros con barrenos de 51 mm de diámetro y una profundidad que va desde 2 a 4 metros. El jumbo es operado desde la cabina por una persona o dos personas ya que posee dos brazos hidráulicos para la perforación.

El jumbo para su operación se hace de una sarta de perforación que consta de 4 piezas: zanco, acople, barra y broca. El problema de estos aceros que todos se desgastan y son descartables, por eso se ve la necesidad de un sistema que administre el consumo y la adecuada distribución ya que si no se cuenta con el repuesto de una manera adecuada y a tiempo provoca paros innecesarios. Además, se debe establecer el procedimiento adecuado para la recuperación de las piezas que aún se puedan reparar.

2.2.5. Carga de explosivos

En esta operación se realiza la carga de explosivos dentro de las perforaciones realizadas con el objetivo de detonarlo y así poder realizar la excavación deseada, en la carga se realiza una secuencia lógica de detonación con la ayuda del retardo de los detonadores LP (largo periodo).

Para esta operación se cuenta con Mclean de explosivos, esta funciona como equipo de levante y equipo de almacenamiento de material explosivo, dos operadores pertenecen al equipo de carguío. Los materiales utilizados para la carga y explosión es el siguiente: Anfo, emulsión encartuchada de diferentes medidas, cordón detonante y una detonación por medio de detonar eléctrico.

Uno de los mayores atrasos para esta fase del proceso es la espera para que las perforaciones sean realizadas ya que si dichas perforaciones no llegan a la distancia indicada no se puede cargar los explosivos, además de las cargas altas de trabajo que a medida que transcurre la jornada, realizar la cargas de explosivos se vuelven mucho más largas debido al agotamiento físico del personal.

Luego, tras la observación de tareas, se identifica un sobre consumo en el material utilizando en cada voladura y la necesidad de capacitación para optimizar la administración de este recurso en las operaciones.

2.2.6. Ventilación

En esta operación se realiza la ventilación del frente actual después de la voladura con el objetivo de extraer los gases, vapores y polvo generados con la detonación, por medio de la ventilación de la mina subterránea; la detonación de frentes se debe realiza de manera simultánea al finalizar el turno de trabajo y asegurándose que no se encuentre nadie dentro de la mina subterránea.

La ventilación de mina subterránea consta de ventilación natural y artificial, la ventilación natural se dirige desde la entrada de los portales, baja a los niveles por medio de chimeneas y es extraída por la chimenea principal a través de un ventilador extractor hacia la superficie, la ventilación artificial consta de ventiladores y mangas que se dirigen hacia el frente de trabajo. Luego se hace una evaluación del área en la cual los niveles de gases sean permisibles. .

2.2.7. Desescombro

En esta operación se realiza la extracción del escombro de la detonación, se utiliza el cargador minero tipo LHD y se procede a cargar a los camiones en otras ocasiones solamente es acomodado en un acceso cercanos. Si el disparo de explosivos atraviesa la beta, el material es llevado al área de minerales, de lo contrario es llevado al área de materiales estériles.

2.2.8. Sostenimiento

En esta operación se realiza el soporte del área de disparo con el objetivo de darle estabilidad a la excavación. Al inicio, se realiza el saneo del terreno actividad en la cual se bota el terreno inestable o flojo que puede causar un desprendimiento futuro; luego, tras una evaluación geológica, se determina la clase de terreno a trabajar por lo que se clasifica con uno de los cuatro tipos de sostenimiento.

El sostenimiento, básicamente, consiste en colocar electromalla al contorno anclado con pernos tipo swellex; si el terreno presenta inestabilidad se recomienda el lanzamiento de concreto el cual puede ser re lanzamiento o lanzamiento final según el tipo de sostenimiento.

El boltec trabaja con 2 brazos hidráulicos: uno para manipular la malla y el otro para perforar, anclar e inflar el perno tipo swellex dentro del terreno. Esta máquina se debe cargar manualmente con electro malla y pernos tipo swellex en las estaciones de malla ubicadas en mina subterránea.

2.3. Estudio del trabajo

El estudio del trabajo se refiere al estudio de métodos y la medición del trabajo que se utilizan para examinar el trabajo y que llevan a investigar todos los factores que influyen en la eficiencia y economía del proceso analizado con el fin de realizar mejoras.

El estudio del trabajo presenta varias técnicas para aumentar la productividad de las operaciones y para la aplicación a este proyecto se

utilizarán dos herramientas: el estudio de los métodos y el estudio de tiempo por medio del tiempo estándar.

Debido a los resultados que se obtuvieron el diagnóstico con la herramienta del análisis de causa-efecto, se procede a evaluar a detalle los tres procesos en los que se debe de trabajar para impacta en la productividad de la operación: perforación, carga de explosivos y sostenimiento.

2.3.1. Estudio de los métodos de los procesos

El estudio de los métodos de los procesos implica analizar la manera de hacer la transformación en cada etapa del proceso.

El análisis de un proceso puede dar lugar a acciones de rediseño para incrementar la eficacia, reducir costes, mejorar la calidad y acortar los tiempos reduciendo los plazos de producción y entrega del producto o servicio.

Para poder realizar el estudio de métodos en el área de desarrollo de mina subterránea se tomaran como base el estudio de métodos el cual se presenta a continuación:

- Seleccionar el proceso a estudio.
- Registrar el trabajo a estudiar definiendo sus límites en una directa observación de los hechos relevantes relacionados con ese trabajo y recolectar los datos adicionales que sean necesarios.
- Establecer el método más práctico, eficaz y económico mediante las personas involucradas.
- Evaluar diferentes opciones para realizar un nuevo método comparando la relación costo-eficacia entre el nuevo método actual.

- Definir el método nuevo en forma clara a personas que puedan concernir quien lo va a hacer (dirección, supervisores y trabajadores).
- Implantar el nuevo método con una práctica normal formando todas las personas que han de utilizarlo.
- Controlar La aplicación del método nuevo para evitar el uso del método.

2.3.1.1. Perforación

En esta operación se realiza la perforación del frente de trabajo partiendo de una secuencia de barrenos estándar y que puede cambiar respecto del terreno que se presente. La perforación se realiza con el jumbo y se perforan aproximadamente 30 metros con barrenos de 51 mm de diámetro y una profundidad que va desde 2 a 4 metros. El jumbo es operado desde la cabina por una persona o dos personas ya que posee dos brazos hidráulicos para la perforación.

2.3.1.1.1. Método de trabajo

Para la descripción del método de trabajo actual se procede a realizar el análisis de cada uno de las operaciones que se llevan a cabo dentro del proceso los cuales se describen a continuación:

- **Conexión:** es posicionar e instalar el jumbo a la energía eléctrica, servicio de agua de mina y servicio de aire comprimido de mina.
- **Perforación:** es realizar perforaciones repetidas en el frente de trabajo hasta finalizar la perforación, esto requiere los sub procesos en el brazo hidráulico de: posicionamiento, perforación y limpieza de barreno.

- Desconexión: es desconectar el jumbo del frente de trabajo de la energía eléctrica y los servicios de agua y aire comprimido de la mina subterránea.

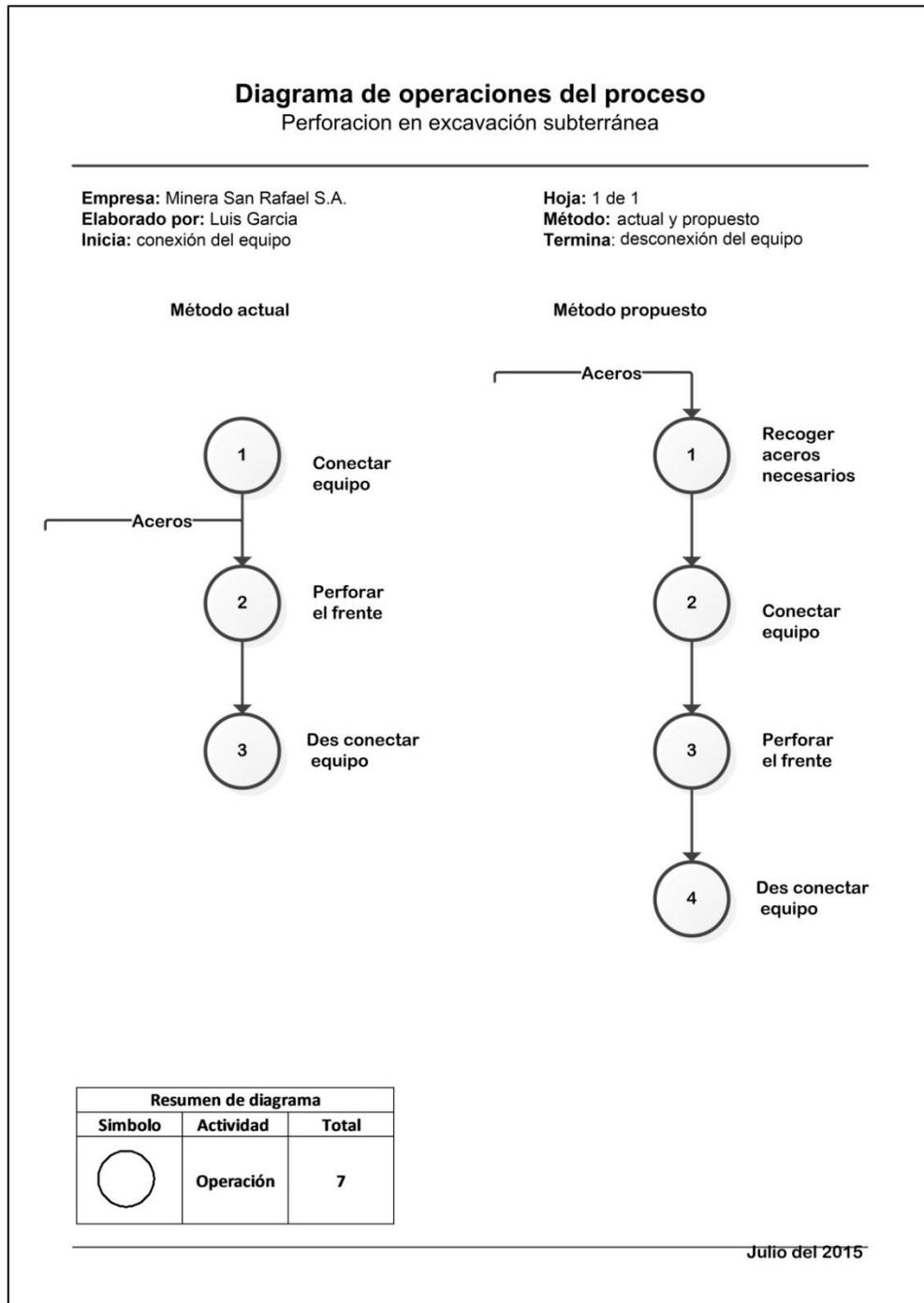
En el método actual se dan inconvenientes y paros en el proceso por espera de materiales de perforación ya que el asignado para distribuir los aceros es el supervisor y las distancias son largas para tener los aceros justos a tiempo en todas las maquinas, así que para eliminar esto se propone que los operadores antes de iniciar su turno recojan los aceros que requieren según sus actividades de día en el área asignada.

Con estos se logra iniciar con un control en los aceros, ya que al operador se le asignan los aceros adecuados para su turno. Los aceros son evaluados para poder estudiar las fallas y detectar fallas en el equipo, en la mala operación y se controla que todos los aceros tengan uso,

Con este sistema de control de aceros, se le asigna las responsabilidad de los aceros directamente al operador, con lo que se evita extraviar aceros son uso, responsabilizarse en el desgaste de los mismos, eliminar los tiempos de espera por aceros que en su mayoría son aceros, y demás beneficios que se detallan más adelante en la implementación del sistema de control de aceros.

A continuación, se describe el método actual y el método propuesto para solucionar las definiciones del proceso.

Figura 4. Diagrama de operaciones del proceso de perforación



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

2.3.1.1.2. Maquinaria

La máquina utilizada para la perforación es el jumbo y funciona bajo el principio de percusión, rotación, avance y barrido; consta de dos brazos hidráulicos con la perforadora y una sarta de perforación para el barrenado. Se alimenta de energía eléctrica trifásica 480v y es operado por una o dos personas ya que los brazos hidráulicos son independientes.

Figura 5. **Maquinaria utilizada para perforación (jumbo)**



Fuente: Direct industry. <http://www.directindustry.es/cat/maquinarias-equipos-minas-obras/tuneladoras-equipos-perforacion-tuneles-AR-939.html>.

Consulta: 12 de noviembre de 2014.

2.3.1.1.3. Materiales

Los materiales utilizados en esta operación corresponden a la sarta de perforación, aceros que van desde la perforadora hasta el punto de contacto con el terreno y su objetivo es transmitir la energía a la broca para que realice el trabajo en el terreno; bajo los principios de avance, rotación y persecución.

Figura 6. **Brocas utilizadas para la perforación de área de mina subterránea**



Fuente: elaboración propia.

2.3.1.2. Carga de explosivos

2.3.1.2.1. Método de trabajo

En esta operación se realiza la carga de explosivos dentro de las perforaciones realizadas con el objetivo de detonarlo y así poder realizar la

excavación deseada. Para la descripción del método de trabajo actual se procede a realizar el análisis de cada uno de las operaciones que se llevan a cabo dentro del proceso los cuales se describen a continuación.

- Conexión

Es la preparación de la máquina de explosivos en el frente de trabajo, conexión al servicio de aire comprimido de la mina, preparación de mangueras y organización del material explosivo.

- Carga de explosivos

Es la carga de explosivos para cada uno de las perforaciones hasta finalizar el frente completo, el material explosivo a utilizar depende del terreno que se presente aunque básicamente se sigue el mismo procedimiento. La carga de un agujero requiere de los subprocesos de limpieza del barreno, cebado y cargado de explosivos.

- Conexión de cordón detonante

Finalizada la carga, se debe conectar el cordón detonante a todos los detonadores LP que se utilizaron, con el objetivo de iniciarlos a un mismo tiempo y que el retardo del detonador sea el que defina la secuencia de detonación en el que cada uno de los agujeros cargados. Esto se hace con la Mclean de carga, con la ayuda de la canasta para moverse en todo el frente cargado.

- Desconexión

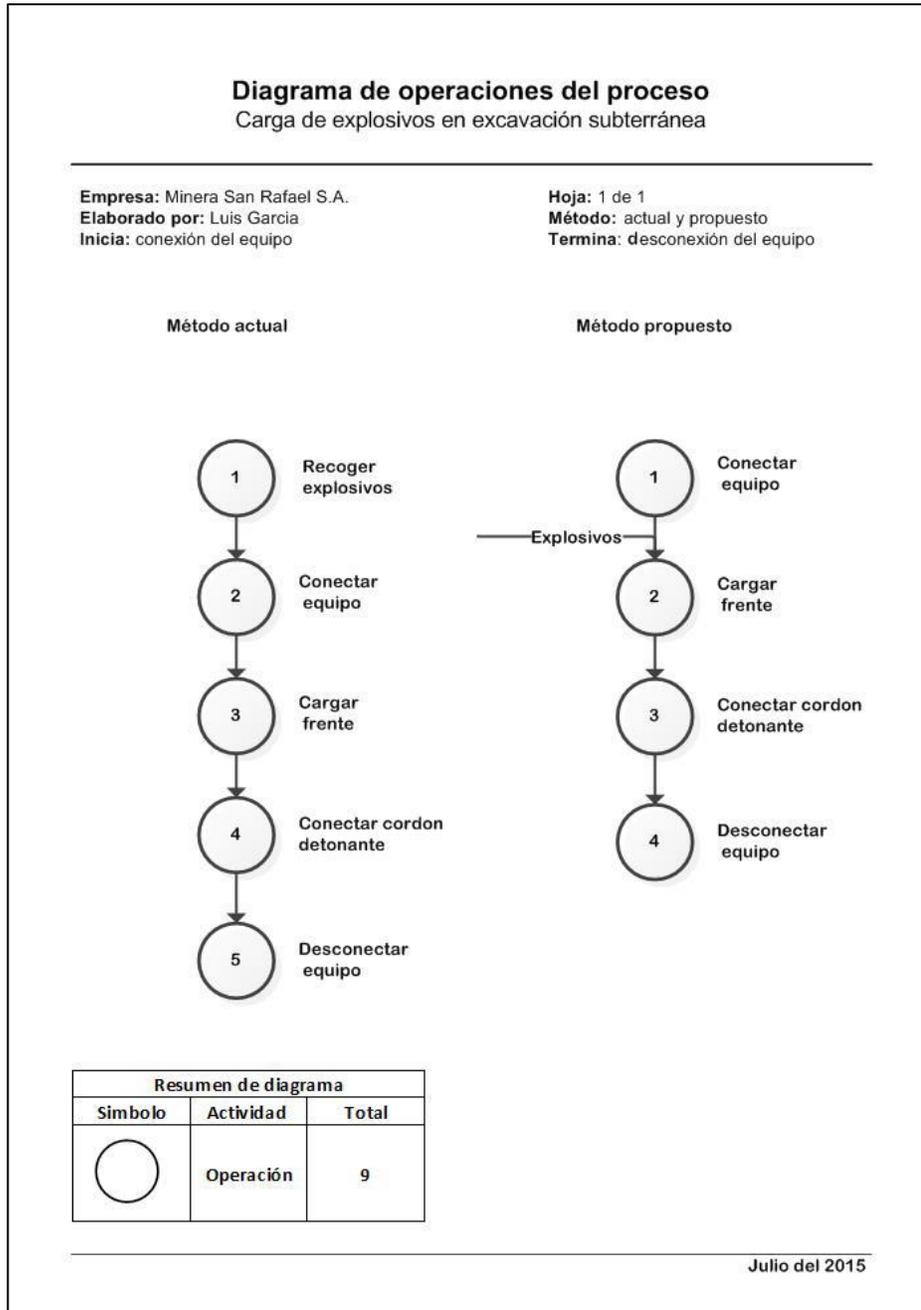
Es la desconexión de la máquina del frente de trabajo e incluye la limpieza de residuos de empaques de explosivos y señalización del frente de trabajo cargado.

Según la evaluación del método utilizando, el método propuesto propone cambiar la operación en la que la máquina de explosivo y los operadores lleguen a traer el explosivo al polvorín a que la máquina de explosivo llegue al lugar por medio del vehículo para el transporte de explosivos propiedad del proveedor de explosivos y que está a disposición de las operaciones de la mina.

Con este cambio se logra, eliminar el tiempo de recoger el explosivo, eliminar el riesgo de transporte en la máquina de explosivos, reducir el costos de combustibles y depreciación por el transporte a la máquina de explosivos, responsabiliza al proveedor y al cargarlo de explosivos de tuno del explosivo solicitado, consumo y devuelto por medio del sistema de control de explosivos que se detalla más adelante en las mejoras implantadas.

A continuación se describe el método actual propuesto para solucionar las diferencias identificadas en la carga de explosivos, representadas en el diagrama de operaciones del proceso.

Figura 7. **Diagrama de operaciones del proceso de carga de explosivos**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

2.3.1.2.2. Maquinaria

La máquina utilizada para la carga de explosivos es la Mclean de explosivos, maquina hidráulica que consta de un brazo con canasta que actúa como equipo de levante y es controlable desde la canasta misma. Contiene un recipiente en donde se deposita el Anfo con presión de aire comprimido, viaja por la manguera de salida hasta depositarse en los agujeros a cargar. Trabaja por medio de un motor diésel.

Figura 8. **Maquinaria utilizada para carga de explosivos**



Fuente: Direct industry. <http://www.directindustry.es/cat/maquinarias-equipos-minas-obras/tuneladoras-equipos-perforacion-tuneles-AR-939.html>. Consulta: 12 de noviembre de 2014.

2.3.1.2.3. Materiales

Los materiales explosivos utilizados en mina tienen una gran variedad y todos los explosivos se encuentran en el polvorín. En desarrollo para cada frente de trabajo.

Los materiales explosivos utilizados en mina tienen una gran variedad y todos los explosivos se encuentran en el polvorín. En desarrollo para cada frente de trabajo la Mclean llega al polvorín y solicita una o más cargas según le haya sido asignado, de este punto se identifica la necesidad de implementar el sistema de control de explosivos con el objetivo de administrar eficientemente este material. Entre los materiales principales para desarrollo se encuentran:

- ANFO

Es un agente explosivo, consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo, desde gasolinas a aceites de motor. Es utilizado por empresas mineras debido a que es relativamente barato y seguro. En la mina es utilizado en sacos con un peso de 25 Kg ara su fácil manipulación.

Figura 9. ANFO



Fuente: ENAEX. *Anfo aluminizado*. <http://www.enaex.com/productos/anfo-aluminizado/>.

Consulta: 20 de enero de 2016.

- Emulsión

Es un alto explosivo, encartuchado diseñado para ser utilizado como carga de columna en rocas duras y blandas. En la mina se utilizan de diferentes medidas según su aplicación y se tienen medidas de 1 x 8 plg, 1 ½ x 16 plg. 2 x16 plg., entre otros.

La tendencia actual hacia el empleo de las emulsiones en las operaciones de arranque con explosivos se fundamenta en las numerosas ventajas que presentan:

- Excelente resistencia al agua.
- Elevadas velocidades de detonación, 4 000 a 5 000 m/s, con poco efecto del diámetro de encartuchado.
- Gran seguridad de fabricación y manipulación.
- Posibilidad de mecanizar la carga y preparar mezclas con ANFO.

Figura 10. **Emulsiones**



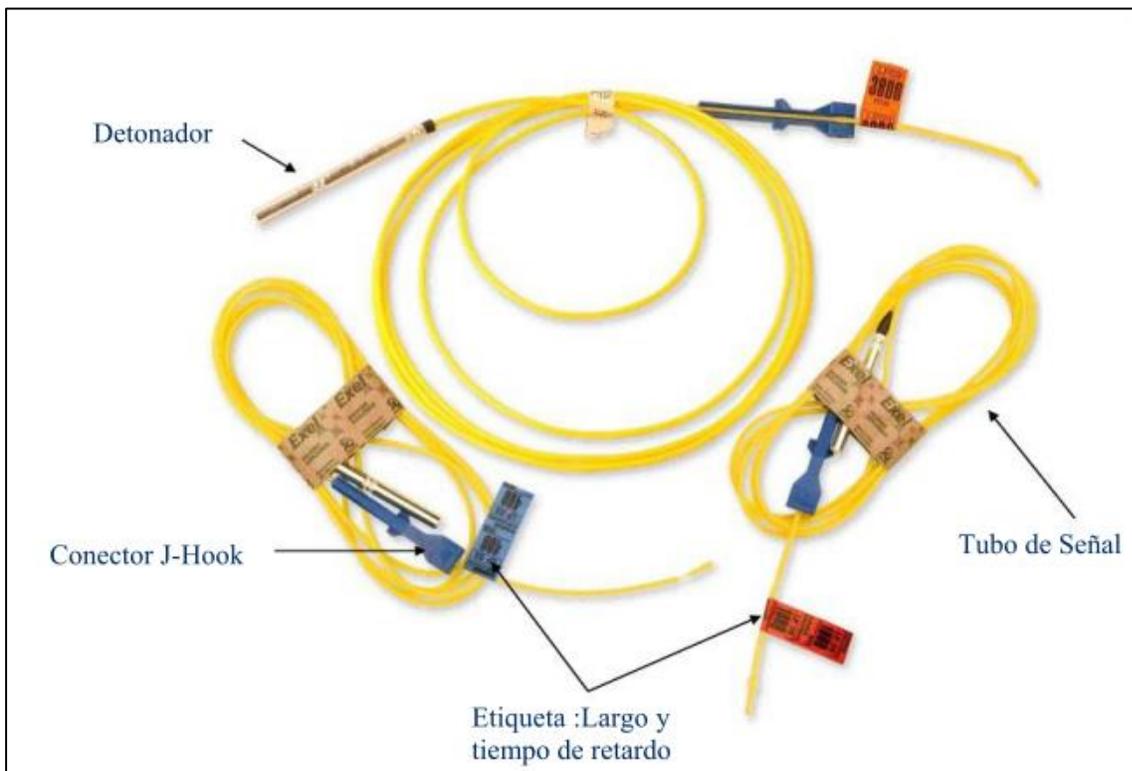
Fuente: Oricamining services. <http://www.oricamining.com>.

Consulta: 15 de noviembre de 2014.

- Detonadores LP

Es un iniciador, son detonadores no eléctricos de alta potencia con intervalos de retardo de largo período entre tiempos de disparos sucesivos. Este producto es un iniciador de booster o emulsión encartuchada es muy segura y fácil de utilizar. Los hay de una numeración del 1 al 15 y entre estos existe un rango de tiempo de detonación de 0 a 9 600 milisegundos.

Figura 11. **Detonadores LP**



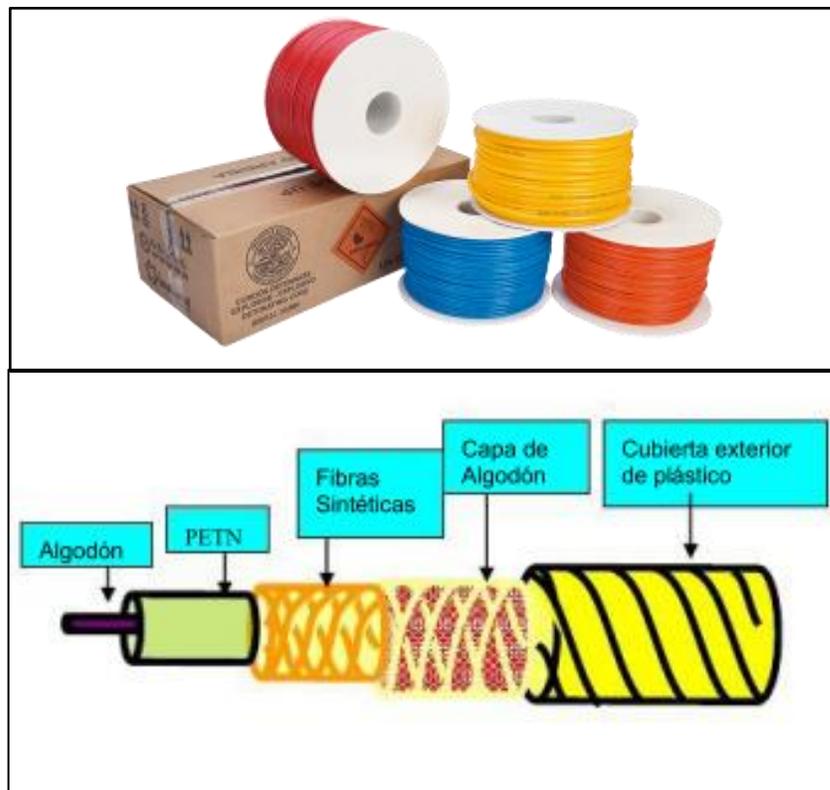
Fuente: Coferias. http://servicios.corferias.com/stand_virtual/exhibicion.cfm?stand=12162.

Consulta: 16 de noviembre de 2014.

- **Cordón detonante**

Es cordón detonante resistente y flexible y está compuesto por un núcleo de Pentrita que está cubierta por un tejido de fibras plásticas, que están a su vez recubiertas con una capa de plástico. Es utilizado como línea maestra para iniciar detonadores no eléctricos y como iniciador a lo largo de la columna del barreno. Puede ser usado en minería a cielo abierto, minería subterránea, canteras y obra civil.

Figura 12. **Cordón detonante**



Fuente: Industria Militar de Colombia. <https://www.indumil.gov.co/categoria-producto/productos-civiles/explosivos/>. Consulta: 19 de noviembre de 2014.

2.3.1.3. Sostenimiento

2.3.1.3.1. Método de trabajo

En esta operación se realiza el soporte del área de disparo con el objetivo de darle estabilidad a la excavación. Al inicio se realiza el saneo del terreno, actividad en la cual se bota el terreno inestable o flojo que puede causar un desprendimiento futuro, luego tras una evaluación geológica, se determina la clase de terreno a trabajar por lo que se clasifica con uno de los cuatro tipos de sostenimiento.

Para la descripción de método de trabajo actual se procede a realizar el análisis de cada uno de los cuales se describen a continuación.

- **Conexión**

Es el posicionamiento e instalación del boltec a la energía eléctrica, servicio de agua de mina y servicio de aire comprimido de la mina.

- **Saneo**

Es la actividad en la cual se bota el terreno inestable y/o flojo que puede causar un desprendimiento futuro. Esta actividad se realiza con el brazo del boltec, aunque no es una actividad para la que fue diseñada la máquina, existen máquinas con martillos hidráulicos para tal fin o cuando menos el brazo del jumbo funciona de mejor manera y tiene mayor disponibilidad de tiempo que el boltec.

- Sostenimiento

Es una actividad simultánea en la que participan los dos brazos hidráulicos del boltec. Un brazo manipula y sostiene la malla y el otro brazo perfora el barreno, ancla el perno tipo swellex e infla el perno por medio de agua a una presión de 30 MPa, por lo tanto, es la actividad principal y ruta crítica durante la operación de sostenimiento. Necesita dos operadores por máquina ya que tiene dos mandos simultáneos que operar.

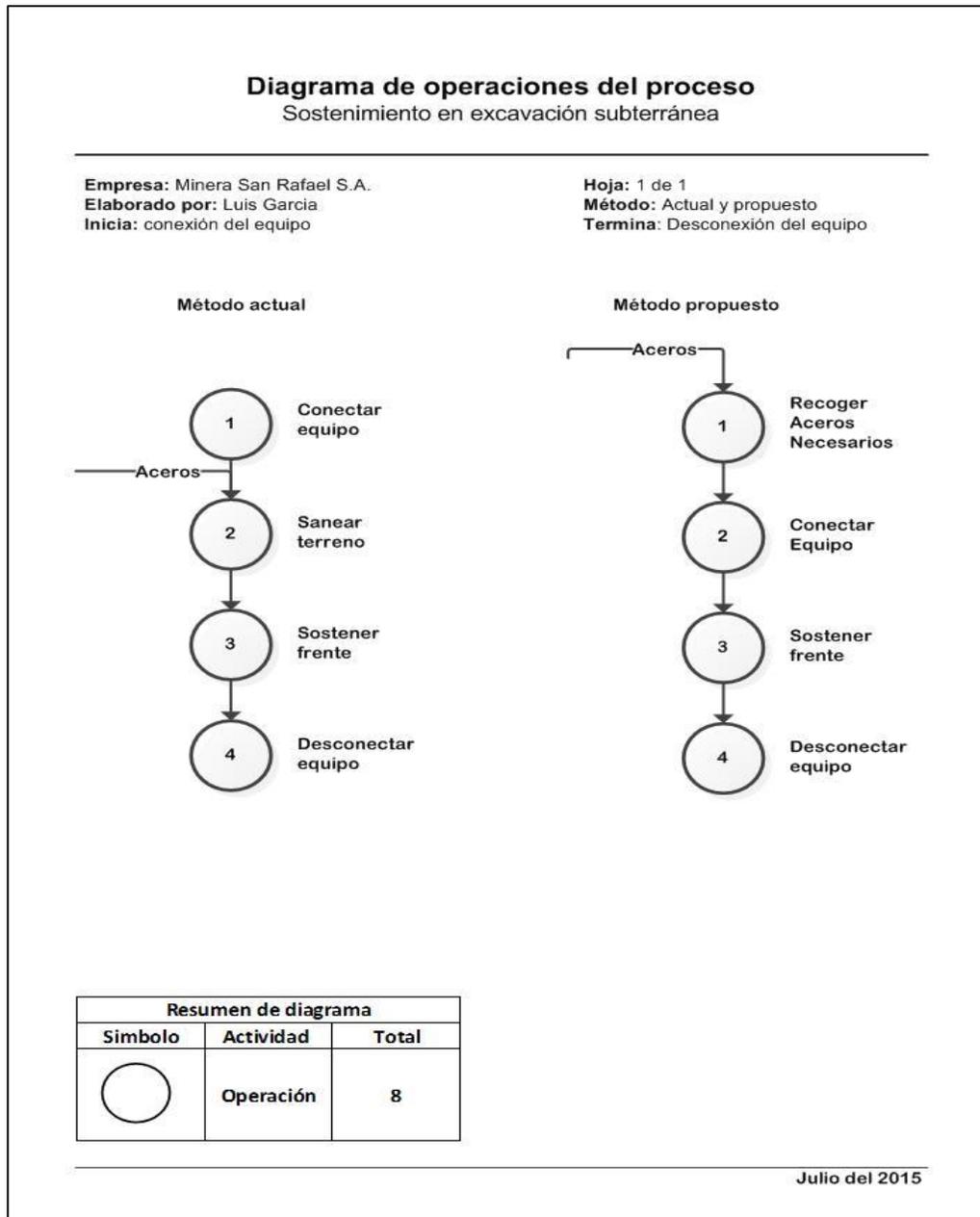
- Desconexión

Es la desconexión de la máquina del frente de trabajo, energía eléctrica y servicios de agua y aire comprimido de la mina.

Según la evaluación del método utilizado, el método propuesto propone eliminar la operación de sanear el terreno, ya que lo va realizar otra máquina especialmente diseñada para ello, y desde el punto de vista de boltec este proceso ya que no se realiza. También se propone que los operadores antes de iniciar su turno recojan los aceros que requieran según sus actividades del día en el área asignada para ello.

Con lo anterior, se logra eliminar el tiempo el tiempo de saneo del terreno del proceso y se obtienen los mismos beneficios del proceso de perforación con el sistema de control de aceros. A continuación, se describe el método actual y el método propuesto para solucionar las deficiencias identificadas en la carga de explosivos, representadas en el diagrama de operaciones del proceso.

Figura 13. Diagrama de operación del proceso de sostenimiento de excavación subterránea



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

2.3.1.3.2. Maquinaria

La máquina utilizada en sostenimiento es el boltec, consta de dos brazos hidráulicos para la operación: el primero tiene la función de manipular y sostener la malla en el perfil de la excavación; el segundo, y más importante, tiene la función de perforar el barreno, anclar en perno swellex e inyectarlo con agua; está conformado por una perforadora hidráulica, una bomba de presión de capacidad de 30 MPa para inflar los pernos y un carrusel con capacidad para 10 pernos.

El boltec consta de un motor diésel para la marcha y un motor eléctrico para la operación, por lo tanto, se conecta a la energía eléctrica y utiliza el servicio de agua y aire comprimido de la mina. Es operado por el operador titular y un ayudante que apoya con el brazo manipulador de malla y la manipulación manual de las mallas y los pernos.

Figura 14. **Maquinaria utilizada para sostenimiento (boltec)**



Fuente: elaboración propia.

Una de las mayores causas para la ocurrencia de accidentes en minería subterránea es la caída de rocas. Por tal motivo, se deben realizar gestiones preventivas para el sostenimiento de las labores generando, así, la seguridad en las actividades mineras. El sostenimiento activo en excavaciones subterráneas son un conjunto de procedimientos y materiales utilizados para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad resistente a sollicitación del macizo rocoso en las cercanías al perímetro de la excavación. La tendencia actual en el mundo es lograr el auto sostenimiento de la roca, procurando conservar la resistencia natural de la misma, tratando de movilizar los esfuerzos hacia los bordes de la excavación. Generalmente la solución consiste en combinar varios tipos de sostenimiento.

2.3.1.3.3. Materiales

Los materiales utilizados en esta operación son los pernos y las mallas; los pernos swellex son instalados perpendicularmente a la superficie a sostener con el fin de soportar el terreno y las mallas instaladas en la superficie del terreno a sostener cubriéndolo completamente para darle la seguridad al terreno de no tener ningún desprendimiento.

Los otros materiales, son los aceros de perforación, ya que al igual que el jumbo, utiliza una sarta de perforación desde la perforadora hidráulica hasta el punto de contacto con el terreno. Estos son sanco, acople, barra y broca, las características de estos aceros se describen más adelante.

Figura 15. **Materiales de sostenimiento (mallas y pernos tipos swellex)**



Fuente: FLORES VEGA, Freddy Ramiro. *Sostenimiento y revestimiento*.
<http://es.slideshare.net/freddyramirofloresvega/8sostenimiento-y-revestimiento-de-tuneles>.
Consulta: 20 de noviembre de 2014.

2.3.2. Estudio de tiempos de procesos

El estudio de tiempos es la técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea.

Para este fin es necesaria una serie de pasos para conseguir el tiempo estándar que es el tiempo promedio en que un trabajador capacitado puede realizar una tarea.

- Aplicaciones del tiempo estándar
 - Ayuda a la planeación de la producción los problemas de producción y de ventas podrán basarse en los tiempos estándares después de haber aplicado la medición del trabajo a los procesos respectivos, eliminando una planeación defectuosa basada en conjetura o adivinanzas.
 - Es una herramienta que ayuda a establecer estándares de producción precisos y justos. Además de indicar lo que puede producirse en un día normal de trabajo, ayuda a mejorar los estándares de calidad.
 - Ayuda a establecer las cargas de trabajo.
 - Ayuda a entrenar a nuevos trabajadores. Los tiempos estándares serán el parámetro que mostrará a los supervisores la forma como los nuevos trabajadores aumentan su habilidad en los métodos de trabajo.

2.3.2.1. Procedimiento para la medición del trabajo

- El estándar de tiempos y sus componentes

El producto final de la medida del trabajo será el obtener el tiempo estándar de la operación o proceso objeto de nuestro estudio. Estos términos lo que indican es un tiempo que reúne las siguientes características:

- P: personal (por ejemplo, satisfacción de necesidades personales)

- D: descanso (fatiga)
- S: suplementario o demoras inevitables dentro de los procesos

- Métodos generales de medición del trabajo
 - Intuitivo: basado en la experiencia
 - Medición y observación directas
 - Cronometraje
 - Muestreo del trabajo

Para el proyecto de mejora en los procesos de la mina subterránea, se basará en una mezcla de los dos métodos ya que no solamente basta con la medición si no que se hace necesario basarse también en la experiencia. Intuitivo ya que muchos de los datos que se proporcionarán son con base en la experiencias vividas de parte de los supervisores de la mina.

- Observaciones necesarias

Para determinar el número de observaciones que determine un tiempo representativo dependerá de la naturaleza de la operación. Que se podrá determinar por fórmulas estadísticas o simplemente midiendo en su totalidad el proceso ya que son procesos que no se realizará diariamente.

- Tiempo medio

El tiempo medio es el promedio de los valores de una muestra representativa ya definida y se calcula de la siguiente manera:

$$T_m = \frac{\sum \text{Valores cronometrados}}{\text{Número de mediciones}}$$

Donde:

- Tm: tiempo medio
 - Tiempo normal

Para encontrar el tiempo normal de la operación analizada se considera cuatro factores: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia. La asignación de los valores depende del criterio del analista y se calcula de la siguiente manera:

$$T_n = T_m \times (1 + (\sum \text{Factores de nivelación}))$$

Dónde:

- Tn: tiempo normal
- Tm: tiempo medio

Para los factores de nivelación, los valores de habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia que el analista según observaciones se define en la siguiente tabla:

Tabla II. Factores de nivelación para determinar el tiempo normal

HABILIDAD			ESFUERZO		
A	Habilísimo	+0.15	A	Excesivo	+0.15
B	Excelente	+0.10	B	Excelente	+0.10
C	Bueno	+0.05	C	Bueno	+0.05
D	Medio	0.00	D	Medio	0.00
E	Regular	-0.05	E	Regular	-0.05
F	Malo	-0.10	F	Malo	-0.10
G	Torpe	-0.15	G	Insuficiente	-0.15
CONDICIONES			CONSISTENCIA		
A	Buena	+0.05	A	Buena	+0.05
B	Media	0.00	B	Media	0.00
C	Mala	-0.05	C	Mala	-0.05

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo y medición*. p. 34.

- Tiempo estándar

Para calcular el tiempo estándar del proceso, corresponde agregar los suplementos. Estos corresponden a factores constantes y variables que dependerán de la forma del proceso y su entorno. Y se calcula de la siguiente manera.

$$Te = Tn \left(1 + \frac{\sum \text{Suplemento}}{100} \right)$$

Donde:

- Te: tiempo estándar
- Tn: tiempo normal

Suplementos: son valores definidos para cada condición y dependerá si es hombre o mujer la que realice la operación.

Tabla III. **Suplementos para determinar el tiempo estándar**

			Hombres	Mujeres
1. Suplementos constantes				
	A	Suplementos por necesidades personales	5	7
	B	Suplementos base por fatiga	4	4
2. Suplementos Variables				
	A	Suplemento por trabajar de pie	2	4
	B	Suplemento por postura anormal		
		Ligeramente incomoda	0	1
		Incomoda inclinada	2	3
		Muy incomoda (echado, estirado)	7	7
	C	Uso de la fuerza o de la energía muscular (levantar, tirar o empujar) - Peso Levantado expresado en kilogramo		
		2.5	0	1
		5	1	2
		7.5	2	3
		10	3	4
		12.5	4	6
		15	5	8
		17.5	7	10
		20	9	13
		22.5	11	16
		25	13	20 (máx.)
		30	17	-
		33.5	22	-
	D	Mala iluminación		
		Debidamente por debajo de la potencia calculada	0	0
		Bastante por debajo	2	2
		Absolutamente insuficiente	5	5
	E	Condiciones atmosféricas (calor y humedad)		
		Rango de valores de 0 a 10 en la medida que al aire respirable este contaminado y se tenga que recurrir al uso de equipo de protección personal. Es más alto el valor en la medida que el aire este más contaminado.	0 a 10	0 a 10
	F	Concentración intensa		
		Trabajo de cierta precisión	0	0
		Trabajos de precisión o fatigosos	2	2
		Trabajos de gran precisión o muy fatigosos	5	5

Continuación de la tabla III.

	G	Ruido		
		Continuo	0	0
		Intermitente y fuerte	2	2
		Intermitente y muy fuerte	5	5
		Estridente y fuerte	5	5
	H	Tensión Mental		
		Proceso bastante complejo	1	1
		Proceso complejo o atención dividida entre muchos objetos	4	4
		Muy complejo	8	8
	I	Monotonía		
		Trabajo algo monótono	0	0
		Trabajo bastante monótono	1	1
		Trabajo muy monótono	4	4
	J	Tedioso		
		Trabajo algo aburrido	0	0
		Trabajo aburrido	2	1
		Trabajo muy aburrido	5	2

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo y medición*. p. 52.

A continuación se describe el estudio de tiempos realizado al proceso de perforación, carga de explosivos y sostenimiento; con el objetivo de analizar áreas de oportunidad de mejora y deficiencias en los procesos por medio del estudio de los tiempos.

2.3.2.2. Medición de tiempos de perforación

- Medición de tiempos

La tabla siguiente es un ejemplo de observaciones realizadas a la medición específica del proceso de perforación y se refiere a la medición de tiempos de los subprocesos. Con el objetivo de evaluar detalladamente en cada uno de los movimientos del jumbo para cada brazo ya que el jumbo tiene 2 brazos para poder determinar todos los problemas y determinar áreas de mejora.

Tabla IV. **Tiempos de subproceso de perforación**

Perforación de frentes de desarrollo									
Fecha:		4/11/2014			Ubicación:		1315 ventilación o.c.		
Operador:		Armando Gómez			RMR:		42 -sostenimiento tipo II		
Ayudante:		-----			Equipo:		JD 02 jumbo		
profundidad:		3 m lineales			# de barrenos:		58		
Hora Inicio:		09:00:22 p.m.			Hora final:		01:36:55 a.m.		
Brazo izquierdo					Brazo derecho				
Barrenos	Posicionar brazo	Perforar	Limpiar barreno	Tiempo Total por barreno	Barrenos	Posicionar brazo	Perforar	Limpiar Barreno	Tiempo total por barreno
1	0:00:30	0:01:26	0:03:20	0:05:16	1	0:00:15	0:01:54	0:03:11	0:05:20
2	0:00:20	0:02:54	0:02:12	0:05:26	2	0:00:11	0:01:46	0:02:03	0:04:00
3	0:00:16	0:01:40	0:02:10	0:04:06	3	0:00:10	0:02:29	0:02:06	0:04:45
4	0:00:17	0:01:40	0:00:20	0:02:17	4	0:00:13	0:01:31	0:00:11	0:01:55
5	0:00:12	0:01:40	0:00:10	0:02:02	5	0:00:11	0:01:35	0:00:16	0:02:02
6	0:00:09	0:01:44	0:00:16	0:02:09	6	0:00:30	0:01:18	0:00:17	0:02:05
7	0:00:30	0:01:18	0:00:12	0:02:00	7	0:00:10	0:02:29	0:00:16	0:02:55
8	0:00:10	0:01:45	0:00:15	0:02:10	8	0:00:12	0:02:05	0:00:12	0:02:29
9	0:00:08	0:01:54	0:00:10	0:02:12	9	0:00:30	0:02:21	0:00:09	0:03:00
10	0:00:10	0:01:46	0:00:08	0:02:04	10	0:00:10	0:02:05	0:00:16	0:02:31

Continuación de la tabla IV.

11	0:00:06	0:02:29	0:00:07	0:02:42	11	0:00:12	0:02:21	0:00:22	0:02:55
12	0:00:09	0:01:31	0:00:10	0:01:50	12	0:00:12	0:02:06	0:00:24	0:02:42
13	0:00:11	0:01:35	0:00:12	0:01:58	13	0:00:30	0:02:54	0:00:17	0:03:41
14	0:00:07	0:01:36	0:00:10	0:01:53	14	0:00:10	0:01:40	0:00:16	0:02:06
15	0:00:15	0:02:02	0:00:20	0:02:37	15	0:00:08	0:01:40	0:00:31	0:02:19
16	0:00:15	0:02:05	0:00:15	0:02:35	16	0:00:10	0:01:40	0:00:12	0:02:02
17	0:00:12	0:02:21	0:00:16	0:02:49	17	0:00:06	0:01:31	0:00:12	0:01:49
18	0:00:09	0:02:06	0:00:12	0:02:27	18	0:00:07	0:01:35	0:00:14	0:01:56
19	0:00:15	0:02:42	0:00:14	0:03:11	19	0:00:15	0:01:36	0:00:07	0:01:58
20	0:00:12	0:01:50	0:00:11	0:02:13	20	0:00:15	0:02:02	0:00:10	0:02:27
21	0:00:22	0:01:45	0:00:17	0:02:24	21	0:00:12	0:01:18	0:00:12	0:01:42
22	0:00:10	0:01:54	0:00:10	0:02:14	22	0:00:15	0:01:45	0:00:10	0:02:10
23	0:00:06	0:01:46	0:00:12	0:02:04	23	0:00:12	0:01:54	0:00:16	0:02:22
24	0:00:07	0:01:41	0:00:10	0:01:58	24	0:00:09	0:01:46	0:00:21	0:02:16
25	0:00:10	0:01:59	0:00:16	0:02:25	25	0:00:09	0:01:41	0:00:11	0:02:01
26	0:00:08	0:01:31	0:00:12	0:01:51	26	0:00:21	0:01:59	0:00:14	0:02:34
27	0:00:10	0:01:35	0:00:09	0:01:54					
28	0:00:19	0:01:18	0:00:16	0:01:53					
29	0:00:15	0:01:36	0:00:22	0:02:13					
30	0:00:11	0:02:11	0:00:24	0:02:46					
31	0:00:10	0:02:10	0:00:17	0:02:37					
32	0:00:18	0:01:49	0:00:13	0:02:20					
Promedio	0:00:13	0:01:51	0:00:27	0:02:31	Promedio	0:00:14	0:01:53	0:00:30	0:02:37
Desviación Estándar	0:00:06	0:00:22	0:00:43	0:00:52	Desviación Estándar	0:00:07	0:00:23	0:00:45	0:00:54
Tiempo de perforación parcial				1:20:36	Tiempo de perforación Parcial				1:08:02
Tiempo Muerto del brazo izquierdo				0:12:35	Tiempo Muerto del brazo derecho				0:25:09
Tiempo de perforación				1:33:11	Tiempo de perforación				1:33:11

Fuente: elaboración propia.

En la tabla V se puede identificar una desviación estándar alta de tiempo de perforación de un solo barreno (00:00:52 y 00:00:54), debido a la naturaleza del trabajo ya que depende del terreno el tiempo que tome cada uno de los

subprocesos. El tiempo muerto identificado en cada brazo se define como el tiempo en el que el brazo del jumbo no realiza ninguna acción.

Un gran problema que se detectó en el proceso es el gasto excesivo de brocas que son desechadas con un desgaste mínimo y el tiempo de espera de brocas o aceros que se tiene en el proceso; es por ello que se hace necesario poder implementar un plan para la evaluación y afilado de las brocas para evitar atrasos ya que uno de los brazos quedo inhabilitado y tampoco se contaba con el repuesto de inmediato para poder reponer dicha broca haciendo que el tiempo completo de perforación tarde mucho más.

La tabla presenta la medición de tiempos de todo el proceso de perforación (conexión, perforación y desconexión).

Tabla V. Tiempos de proceso de perforación

Proceso de perforación	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Tiempo 6	desviación estándar
1. Conexión del equipo	0:32:23	0:12:55	0:19:55	0:10:28	0:15:20	0:22:24	0:07:56
2. Perforación	1:33:11	1:10:00	1:50:28	1:10:00	1:35:00	1:47:00	0:17:32
3. Desconexión del equipo	0:27:26	0:11:54	0:17:20	0:09:55	0:13:59	0:18:00	0:06:13
Tiempo total del proceso	2:33:00	1:34:49	2:27:43	1:30:23	2:04:19	2:27:24	0:27:56

Fuente: elaboración propia.

Como se ha podido observar en la tabla V, son los tiempos de conexión y desconexión del equipo los tiempos que depende de personal humano para ser realizados es por eso que se plantea la realización de capacitación para que se tenga definido el proceso y no se realice más de 15 minutos.

Además, hay que tomar en cuenta que debido a las observaciones y al análisis de los subprocesos de perforación se puede deducir que mientras peor es el terreno (terreno quebrado, arcilloso, con presencia de mucho cuarzo, con alto porcentaje de mineral, etc.) más tiempo requiere la perforación y la limpieza de cada barreno.

- Tiempo medio proceso de perforación

El tiempo medio se define como el promedio de la muestra definida representativa; entonces, se toman en cuenta todos los valores del tiempo total del proceso de la tabla VI y se calcula de esta manera:

$$Tm = \frac{\sum \text{valores cronometrados}}{\text{número de mediciones}} = \frac{12:37:38}{6} = 2:06:16$$

$$Tm = 2:06:16 = 2,10 \text{ horas}$$

- Tiempo normal

Para encontrar el tiempo normal de la operación analizada se consideran cuatro factores: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia. La asignación de los valores depende del criterio del analista y la tabla a utilizar es la tabla III, factores de nivelación para determinar el tiempo normal.

La asignación de los valores según la tabla y el criterio de un operador normal y promedio en la operación es la siguiente: habilidad = +0,05, esfuerzo = +0,05, condiciones = -0,05 y consistencia = 0,00.

$$Tn = Tm \times (1 + (\sum \text{factores de nivelación}))$$

$$Tn = 2,10 \times (1 + (0,05 + 0,05 - 0,05 + 0,00))$$

$$Tn = 2,21 \text{ horas}$$

- Tiempo estándar

Para calcular el tiempo estándar del proceso, corresponde agregar los suplementos constantes y variables según las condiciones del proceso.

Según la tabla de suplementos y con los criterios para operadores de sexo masculino, se presenta la tabla definida con los valores de perforación específicamente para el proceso de perforación.

Tabla VI. **Suplementos para a utilizar para el proceso de perforación**

			Hombres
1. Suplementos constantes			
A	Suplementos por necesidades personales		5
B	Suplementos base por fatiga		4
2. Suplementos Variables			
A	Suplemento por trabajar de pie		2
B	Suplemento por postura anormal		
	Ligeramente incomoda		0
C	Uso de la fuerza o de la energía muscular (levantar, tirar o empujar) - Peso levantado expresado en kilogramo		
	10		3
D	Mala iluminación		
	Bastante por debajo		2
E	Condiciones atmosféricas (calor y humedad)		
	Rango de valores de 0 a 10 en la medida que al aire respirable este contaminado y se tenga que recurrir al uso de equipo de protección personal. Es más alto el valor en la medida que el aire este más contaminado.		6
F	Concentración intensa		
	Trabajo de cierta precisión		0
G	Ruido		
	Intermitente y fuerte		2
H	Tensión mental		
	Proceso bastante complejo		1
I	Monotonía		
	Trabajo algo monótono		0
J	Tedioso		
	Trabajo algo aburrido		0
Total de suplementos			25

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo y medición*. p. 52.

La ecuación del tiempo estándar, entonces, está dada de la siguiente manera:

$$Te = 2,21 (1 + (\sum \text{suplementos}))$$

$$Te = 2,21 (1 + (0,25))$$

$$Te = 2,76$$

$$Te = 02:45:36$$

Entonces el tiempo estándar del proceso de perforación es de 2,76 horas, equivalente a 2:45:36.

Durante el proceso de perforación se observa y mide el tiempo de actividades que no son parte del proceso como tal, pero pueden ocasionar atrasos y ocurren recurrentemente.

La tabla VIII contiene las actividades ocurridas dentro del proceso de perforación que son ajenas al mismo. Y fueron cronometradas al momento de medir el tiempo del proceso.

Tabla VII. Actividades dentro del proceso ajenas a la perforación

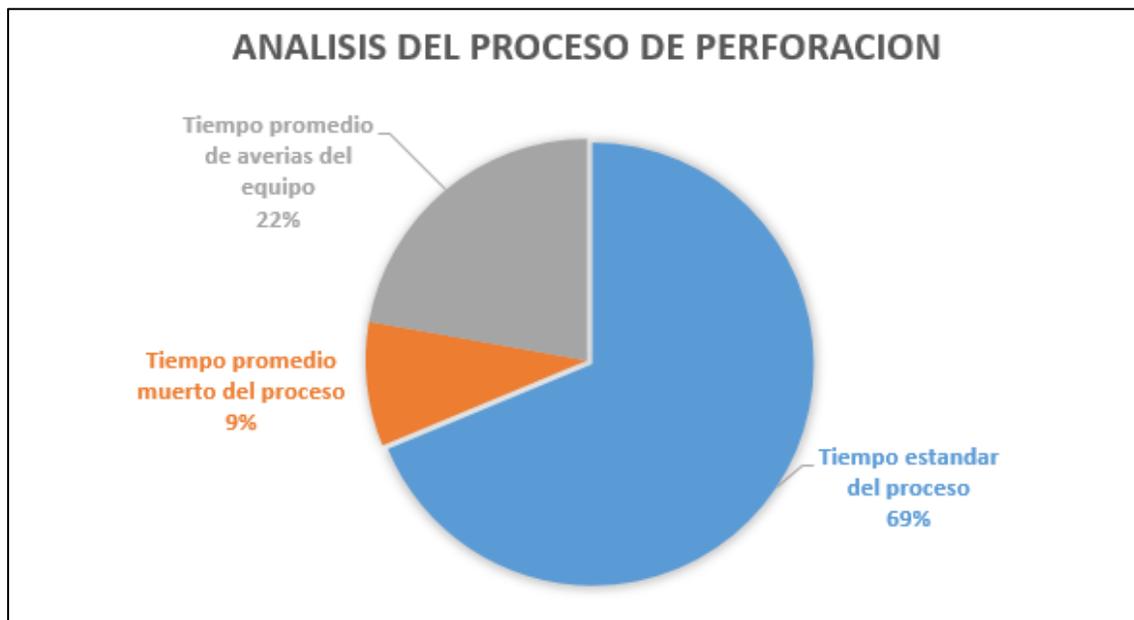
Actividades del proceso ajenas al proceso	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Tiempo 6	Promedio	Desviación estándar
Tiempos muertos (tiempo de espera por aceros, materiales y otros)	0:18:11	0:15:41	1:00:22	0:15:12	0:21:40	0:00:00	0:21:51	0:20:17
Averías del equipo	1:45:22	0:20:11	1:35:00	0:00:00	0:00:00	1:40:10	0:53:27	0:51:49
Tiempo total ajeno a las operaciones del proceso	2:03:33	0:35:52	2:35:22	0:15:12	0:21:40	1:40:10	1:15:18	0:59:00

Fuente: elaboración propia.

De la tabla VIII es importante observar que estos tiempos no deben ser tomados en cuenta para el análisis del tiempo estándar y aunque ocurren en el proceso, no son parte del mismo. Es importante investigar e identificar áreas de mejora para eliminar o reducir estos tiempos ya que el tiempo promedio de estas actividades es de 1:15:18 con una desviación estándar de 0:59:00.

Siendo el tiempo estándar del proceso 2:45:36, (según cálculo de tiempo estándar, p.57) el tiempo muerto promedio del proceso 0:21:51 y el tiempo promedio de averías del equipo 0:53:27 (tabla VIII); entonces se define la siguiente gráfica para su análisis.

Figura 16. **Análisis del proceso de perforación**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 18, el tiempo estándar del proceso de perforación corresponde a un 69 %, el tiempo promedio de muerto del

procesos 9 % y el tiempo promedio de averías del equipo un 22 %; entonces, se tiene una pérdida de tiempo considerablemente alta que se debe mejorar con ciertos cambios en el manejo de aceros de perforación y soluciones que debe promover el departamento de mantenimiento haciéndole de sus conocimiento el porcentaje de tiempo que se pierde por causa de averías.

Además, se puede deducir que la carga de trabajo puede mejorar si se realizan los cambios en la cantidad de personal por jumbo se utiliza el diagrama hombre-máquina a continuación, para el análisis.

- Diagrama hombre máquina

Para poder desarrollar un mejor análisis se hace necesario realizar el diagrama hombre-máquina para determinar la carga de trabajo.

El diagrama de procesos hombre-máquina se utiliza para estudiar, analizar y mejorar una estación de trabajo a la vez. El diagrama muestra la relación de tiempo exacta entre el ciclo de trabajo de la persona y el ciclo de operación de la máquina. Estos hechos pueden conducir a una utilización más completa de tiempo de trabajador y de la maquina así como a obtener un mejor balance del ciclo de trabajo.

Como se pudo determinar a través del análisis FODA, la carga de trabajo es excesiva ya que por la naturaleza de trabajo no es posible operar los dos brazos y dejarlos que trabajen solos, ya que los operadores tienen que intervenir en algunas operaciones para poder realizar el proceso.

A continuación se presenta el diagrama hombre-máquina representado un ciclo del proceso de perforación.

Tabla VIII. Diagrama hombre-máquina del proceso de perforación

Diagrama hombre – máquina					
Operador	Tiempo	I	(Maquina 1) Brazo izquierdo	D	(Maquina 2) Brazo Derecho
Limpiar barreno M2	0:00:30	■	Perforar	■	Limpiar barreno
	0:01:00				
	0:01:30				
	0:02:00	□	Tiempo muerto		
	0:02:30				
	0:03:00				
0:03:30					
Posicionar brazo M2	0:03:30			■	Posicionar Brazo
Limpiar barreno M1	0:04:00	■	Limpiar barreno	■	Perforar
	0:04:30				
	0:05:00				
	0:05:30			□	Tiempo muerto
	0:06:00				
	0:06:30				
Posicionar brazo M1	0:07:00	■	Posicionar Brazo		

Tiempo efectivo del operador	Tiempo efectivo M1	Tiempo efectivo M2
100 %	71 %	71 %

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VIII se puede observar que el operador utiliza el 100 % de tiempo, y la utilización de los dos brazos es del 71 %, por lo cual se recomienda asignar dos operadores para dicha máquina y así poder utilizar los dos brazos del jumbo 100 %.

2.3.2.3. Medición de tiempos de carga de explosivos

Para el estudio de tiempos de carga de explosivos, se define la tabla X para la toma de tiempos en campo, el número de observaciones realizadas se define en 8 debido al tiempo que requiere la toma de una sola medición.

La tabla IX se refiere a la medición de tiempos de los subprocesos del proceso de carga de explosivos con el objetivo de evaluar muy detalladamente en cada uno de los movimientos del proceso las áreas de mejora.

Tabla IX. **Tiempos de los subprocesos de carga de explosivos**

Carga de explosivos			
Fecha:	26/10/2014	Ubicación:	1315 ventilación E.C.
Operador:	Selvin Solares	RMR	41
Ayudante:	José Pérez, Kelvin López	Equipo:	Mclean AT 02
Hora inicio:	20:52:00	Hora final:	22:01:23
Barreno	Tiempo de carga de explosivo		
1	0:01:10		
2	0:01:52		
3	0:01:36		
4	0:01:26		
5	0:01:45		
6	0:01:51		
7	0:01:02		
8	0:00:45		
9	0:00:52		
10	0:00:48		
11	0:00:36		
12	0:00:26		
13	0:00:51		
14	0:00:48		
15	0:01:10		
16	0:01:05		
17	0:00:49		

Continuación de la tabla IX.

18	0:00:22
19	0:00:51
20	0:00:48
21	0:01:20
22	0:00:49
23	0:00:22
24	0:00:51
25	0:01:02
26	0:00:45
27	0:00:32
28	0:00:48
29	0:00:36
30	0:00:26
31	0:00:26
32	0:00:31
33	0:00:36
34	0:00:26
35	0:00:28
36	0:00:18
37	0:00:22
38	0:00:26
39	0:00:22
40	0:00:24
41	0:00:19
42	0:00:26
43	0:00:26
44	0:00:22
45	0:00:24
46	0:00:22
47	0:00:26
48	0:00:22
49	0:00:24
50	0:00:19
51	0:00:26
52	00:00:16
53	0:00:19
54	0:00:19
Promedio	0:00:43
Desviación estándar	0:00:25
tiempo de amarre de cordón detonante	0:05:21
tiempo de carga de explosivos	0:42:58

Fuente: elaboración propia.

Debido a las observaciones y al análisis de los subprocesos de carga de explosivos se puede deducir que mientras peor es el terreno (terreno quebrado, arcilloso, con presencia de mucho cuarzo, con alto porcentaje de mineral, etc.) más tiempo requiere la carga de explosivos ya que se requiere de limpieza manual o aumenta el tiempo en la revisión y carga de cada uno de los agujeros.

La tabla X, presenta la medición de tiempos de todo el proceso de carga de explosivos (conexión de equipo, carga de explosivos, conexión de cordón detonante y desconexión de equipo).

Tabla X. Procesos de carga de explosivos

Proceso de carga de explosivos	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Tiempo 6	Tiempo 7	Tiempo 8
1. Conexión del Equipo	0:16:23	0:17:45	0:14:24	0:16:33	0:19:10	0:17:34	0:16:54	0:16:50
2. Carga de explosivos	0:42:58	0:42:58	0:47:23	0:37:51	0:41:45	0:44:11	1:17:26	1:37:41
3. conexión de cordón detonante	0:05:21	0:06:11	0:06:44	0:07:05	0:06:59	0:06:38	0:05:42	0:09:55
4. Desconexión del Equipo	0:10:12	0:12:54	0:13:10	0:09:55	0:12:51	0:14:00	0:12:26	0:14:13
Tiempo total del proceso	1:14:54	1:19:48	1:21:41	1:11:24	1:20:45	1:22:23	1:52:28	2:18:39

Fuente: elaboración propia.

En la tabla X es evidente que el tiempo de carga de explosivos tiene mucha variación entre mediciones, esto es debido a la naturaleza del proceso ya que el tiempo de carga de explosivos esta dado en función del tipo de terreno que se esté trabajando.

También, se observa que en este proceso no hay tiempos muertos por actividades que son ajenas al proceso, ya que los materiales que se utilizan son explosivos y estos se pasan a traer a polvorín previamente; tampoco se registran averías de la maquina durante las mediciones.

- Observaciones necesarias

Según la tabla X, se tomó una muestra de 8 observaciones y debido a la dificultad de las mediciones y al tiempo que representa realizarlas, se sugieren estas 8 mediciones como una muestra representativa de carga de explosivos. Se toman en cuenta todos los valores, aunque la variación entre estos valores es significativa, ya que los datos de este proceso son inconsistentes, no por una mala toma de mediciones ni el ejemplo de un mal operador, sino por la naturaleza del proceso que depende del tipo de material de la roca que se esté excavando.

- Tiempo medio

El tiempo medio se define como el promedio de la muestra definida representativa, entonces se toman en cuenta todos los valores y se calcula de esta manera:

$$T_m = \frac{\sum \text{valores cronometrados}}{\text{número de mediciones}} = \frac{12:02:02}{8} = 1:30:15$$

$$T_m = 1:30:15 = 1,51 \text{ horas}$$

- Tiempo normal

Para encontrar el tiempo normal de la operación analizada se consideran cuatro factores: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia. La asignación de los valores depende del criterio del analista y la tabla a utilizar es la tabla III factores para determinar el tiempo normal.

La asignación de los valores según la tabla y el criterio de un operador normal y promedio en la operación es la siguiente: habilidad = +0,05, esfuerzo =+0,05, condiciones =-0,05 y consistencia = 0,00. Por lo tanto, la fórmula queda de la siguiente manera:

$$Tn = Tm \times (1 + (\sum \text{factores de nivelación}))$$

$$Tn = 1,51 \times (1 + (0,05 + 0,05 - 0,05 + 0,00))$$

$$Tn = 1,61$$

- Tiempo estándar

Para calcular el tiempo estándar del proceso, corresponde agregar los suplementos constantes y variables según las condiciones del proceso.

Según la tabla de suplementos y con los criterios para operadores de sexo masculino, se presenta la tabla definida con los valores de perforación:

Tabla XI. **Suplementos para carga de explosivos**

		Hombres
1. Suplementos constantes		
	Suplementos por necesidades personales	5
	Suplementos base por fatiga	4
2. Suplementos variables		
	Suplemento por trabajar de pie	2
	Suplemento por postura anormal	
	Ligeramente incomoda	0
	Uso de la fuerza o de la energía muscular (levantar, tirar o empujar) - Peso Levantado expresado en kilogramo	
	15	5
	Mala Iluminación	
	Bastante por debajo	2
	Condiciones atmosféricas (calor y humedad)	
	Rango de valores de 0 a 10 en la medida que al aire respirable este contaminado y se tenga que recurrir al uso de equipo de protección personal. Es más alto el valor en la medida que el aire este más contaminado.	6
	Concentración intensa	
	Trabajo de precisión o fatigoso	2
	Ruido	
	Intermitente y fuerte	2
	Tensión mental	
	Proceso complejo o atención dividida entre muchos objetos	4
	Monotonía	
	Trabajo algo monótono	0
	Tedioso	
	Trabajo algo aburrido	0
Total de suplementos		32

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo y medición*. p. 52.

La ecuación del tiempo estándar entonces está dada de la siguiente manera:

$$Te = 2,21 (1 + (\sum \text{suplementos}))$$

$$Te = 1,61 (1 + (0,32))$$

$$Te = 1,93 \text{ horas}$$

Entonces el tiempo estándar del proceso de carga de explosivos es de 1,93 horas, equivalente a 01:55:48. El proceso de carga de explosivos puede definirse como estable ya que no se encontró evidencia de tiempos muertos por maquinaria averiada, espera de materiales herramientas, etc.

La oportunidad de mejora observable en este proceso con los materiales es que debe haber un mejor control con el material explosivo, esto se refiere al material solicitado, al consumidor y a la devolución. Debe ser un sistema que involucre responsables, que tenga un control por escrito del material y que se desarrolle con las medidas de seguridad que requiere el transporte y la manipulación de explosivos.

Por otro lado, en cuanto a la efectividad de las voladuras se requiere implementar un estándar en la operación, al mencionar un estándar sin mencionar el desarrollo del procedimiento seguro para carga de explosivos, se requiere una plantilla de carga estándar para cada sección de túnel; con esto, se logrará que la carga sea más uniforme y que los resultados y la efectividad de las voladuras sea mejor y más constante.

2.3.2.4. Medición de tiempos de sostenimiento

- Medición de tiempos

Para el estudio de tiempos de sostenimiento, se define una tabla inicial para la toma de tiempos en campo, el número de observaciones realizadas se define en 7 debido al tiempo que requiere la toma de una sola medición.

La tabla XII, presenta la toma de tiempos y se refiere a la medición de tiempos de los subprocesos definidos (posicionar brazo, perforación y limpieza del barreno, instalación del perno) del proceso de sostenimiento con el objetivo de evaluar muy detalladamente en cada uno de los movimientos del boltec las áreas de mejora.

Tabla XII. **Tiempos de los subprocesos de sostenimiento**

SOSTENIMIENTO				
Fecha:	9/10/2014	Ubicación:	1340 6320	
Operador:	Martin Xoy	RMR:	45	
Ayudante:	Samuel Marroquín	Sostenimiento:	Tipo I	
No. De mallas:	10	Equipo:	RB04	
Área a sostener (m2)	47,6	No. De pernos	40	
Hora inicio:	22:20:00	Hora final:	2:07:02	
Pernos swellex	Posicionamiento del brazo	Perforación y limpieza del barreno	Instalación del perno	Tiempo total de instalación
1	0:00:09	0:01:44	0:00:29	0:02:22
2	0:00:30	0:01:44	0:02:30	0:04:44
3	0:00:35	0:02:30	0:00:51	0:03:56
4	0:00:33	0:01:25	0:01:10	0:03:08
5	0:00:26	0:01:10	0:02:44	0:04:20
6	0:01:10	0:02:44	0:02:35	0:06:29
7	0:00:26	0:02:11	0:02:10	0:04:47
8	0:00:21	0:01:50	0:02:32	0:04:43
9	0:00:26	0:01:45	0:01:10	0:03:21
10	0:00:52	0:02:10	0:01:30	0:04:32
11	0:00:41	0:02:35	0:00:55	0:04:11
12	0:00:24	0:02:11	0:02:40	0:05:15

Continuación de la tabla XII.

13	0:00:19	0:01:41	0:02:32	0:04:32
14	0:00:16	0:00:59	0:01:40	0:02:55
15	0:00:45	0:02:21	0:01:29	0:04:35
16	0:01:00	0:01:29	0:01:15	0:03:44
17	0:00:30	0:01:49	0:01:10	0:03:29
18	0:01:40	0:02:33	0:01:30	0:05:43
19	0:00:30	0:01:32	0:00:55	0:02:57
20	0:00:25	0:01:29	0:02:40	0:04:34
21	0:01:15	0:02:19	0:02:32	0:06:06
22	0:00:20	0:02:44	0:01:40	0:04:44
23	0:00:41	0:02:11	0:02:44	0:05:36
24	0:00:24	0:01:50	0:02:35	0:04:49
25	0:00:19	0:01:45	0:02:10	0:04:14
26	0:00:16	0:02:10	0:02:32	0:04:58
27	0:00:45	0:02:35	0:01:10	0:04:30
28	0:01:00	0:01:41	0:01:30	0:04:11
29	0:00:35	0:03:02	0:00:55	0:04:32
30	0:00:33	0:02:21	0:02:40	0:05:34
31	0:00:26	0:01:29	0:01:30	0:03:25
32	0:01:10	0:01:49	0:00:55	0:03:54
33	0:00:26	0:02:33	0:00:40	0:03:39
34	0:00:33	0:01:32	0:02:32	0:04:37
35	0:00:26	0:01:45	0:01:40	0:03:51
36	0:01:10	0:01:30	0:01:29	0:04:09
37	0:00:26	0:02:44	0:01:15	0:04:25
38	0:00:21	0:02:11	0:00:45	0:03:17
39	0:00:26	0:01:49	0:00:55	0:03:10
40	0:00:49	0:02:33	0:00:57	0:04:19
Tiempos promedio	0:00:36	0:02:01	0:01:41	0:04:18
Desviación estándar	0:00:20	0:00:29	0:00:44	0:00:53
Sumatorias	0:24:19	1:20:25	1:07:33	2:52:17

Fuente: elaboración propia.

En la tabla se puede observar que se miden los subprocesos del proceso de sostenimiento para identificar posibles áreas de mejora. Se mide por cada perno instalado; el posicionamiento del brazo, la perforación y la instalación del perno; se obtiene un tiempo promedio de 0:04:18 por perno y una desviación estándar de 0:00:53; esta desviación no es tan grande, tomando el criterio que el proceso por su naturaleza tiene mucha variación y esta depende del terreno a trabajar.

Cabe mencionar que el boltec posee dos brazos hidráulicos: con el primero se toma la medición de la tabla anterior y con el segundo se manipulan las mallas de protección colocadas en el perfil de todo el túnel, este brazo no se toma en cuenta ya que el ritmo del proceso se mide únicamente con el primer brazo y la perforación e instalación de pernos swellex.

La siguiente tabla contiene la medición de tiempos de todo el proceso de sostenimiento (conexión, perforación y desconexión).

Tabla XIII. Proceso de sostenimiento

Tiempos del Ciclo	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Tiempo 6	Tiempo 7
Conexión del Equipo	00:15:00	00:11:00	00:16:00	00:21:00	00:13:00	00:16:00	00:16:22
Saneado de terreno	00:25:30	00:20:19	00:24:50	00:44:50	00:32:11	01:05:02	00:40:41
Sostenimiento	02:31:52	02:52:17	03:20:29	05:48:09	03:03:25	02:51:00	02:28:54
Desconexión del Equipo	00:16:00	00:12:00	00:14:00	00:16:00	00:13:00	00:10:00	00:13:10
Tiempo total del proceso	03:28:22	03:35:36	04:15:19	07:09:59	04:01:36	04:22:02	03:39:07

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XIII se observa variación entre mediciones; esto es debido a la naturaleza del proceso ya que el tiempo de perforación e instalación de pernos esta dado en función del tipo de terreno que se esté perforando. El tiempo del proceso de sostenimiento también está en función de la cantidad de pernos que se coloquen y que depende del área a sostener; en las mediciones realizadas esta cantidad oscila entre 40 a 95 pernos instalados.

Debido a las observaciones y al análisis de los subprocesos de perforación se puede deducir que mientras peor es el terreno (terreno quebrado, arcilloso, con presencia de mucho cuarzo, con alto porcentaje de mineral, etc.) más tiempo requiere la perforación y la limpieza de cada barreno.

- Observaciones necesarias

Se toma una muestra de 7 observaciones y debido a la dificultad de las mediciones y al tiempo que representa realizarlas, se sugieren estas 7 mediciones como una muestra representativa del proceso de sostenimiento. Se toman en cuenta todos los valores, aunque la variación entre estos valores es significativa, ya que los datos de este proceso son inconsistentes, no por una mala toma de mediciones ni la operación de un mal operador, sino por la naturaleza del mismo.

- Tiempo medio

El tiempo medio se define como el promedio de la muestra definida representativa, entonces, se toman en cuenta todos los valores y se calcula de esta manera:

$$T_m = \frac{\sum \text{valores cronometrados}}{\text{número de mediciones}} = \frac{30:32:01}{7} = 04:21:43$$

$$T_m = 04:21:43 = 4,37 \text{ horas}$$

- Tiempo normal

Para encontrar el tiempo normal de la operación analizada se consideran cuatro factores: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia. La asignación de los valores depende del criterio del analista y la tabla a utilizar es la tabla III factores para determinar el tiempo normal.

La asignación de los valores según la tabla y el criterio de un operador normal y promedio en la operación es la siguiente: habilidad = +0,05, esfuerzo = +0,05, condiciones = -0,05 y consistencia = 0,00.

$$T_n = T_m \times (1 + (\sum \text{factores de nivelación}))$$

$$T_n = 4,37 \times (1 + (0,05 + 0,05 - 0,05 + 0,00))$$

$$T_n = 4,42$$

- Tiempo estándar

Para calcular el tiempo estándar del proceso, corresponde agregar los suplementos constantes y variables según las condiciones del proceso.

Según la tabla de suplementos y con los criterios para operadores de sexo masculino, se presenta la tabla definida con los valores de perforación:

Tabla XIV. **Suplementos para proceso de sostenimiento**

			Hombres
1. Suplementos constantes			
A	Suplementos por necesidades personales		5
B	Suplementos base por fatiga		4
2. Suplementos variables			
A	Suplemento por trabajar de pie		2
B	Suplemento por postura anormal		
	Ligeramente incomoda		0
C	Uso de la fuerza o de la energía muscular (levantar, tirar o empujar) - Peso levantado expresado en kilogramo		
	10		3
D	Mala iluminación		
	Bastante por debajo		2
E	Condiciones atmosféricas (calor y humedad)		
	Rango de valores de 0 a 10 en la medida que al aire respirable este contaminado y se tenga que recurrir al uso de equipo de protección personal. Es más alto el valor en la medida que el aire este más contaminado.		6
F	Concentración intensa		
	Trabajo de cierta precisión		0
G	Ruido		
	Intermitente y fuerte		2
H	Tensión mental		
	Proceso bastante complejo		1
I	Monotonía		
	Trabajo algo monótono		0
J	Tedioso		
	Trabajo algo aburrido		0
Total de suplementos			25

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo y medición*. p. 52.

La ecuación del tiempo estándar entonces está dada de la siguiente manera:

$$Te = 4,42 (1 + (\sum \text{suplementos}))$$

$$Te = 4,42 (1 + (0,25))$$

$$Te = 4,67$$

Entonces, el tiempo estándar del proceso de sostenimiento es de 4,67 horas, equivalente a 4:40:12.

Durante el proceso de sostenimiento se observa y mide el tiempo de ciertas actividades que no son parte del proceso como tal, pero ocurren recurrentemente.

La tabla XV contiene las actividades ocurridas dentro del proceso de sostenimiento que son ajenas al mismo.

Tabla XV. Actividades dentro del proceso ajenas al sostenimiento

Tiempos medidos	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Tiempo 6	Tiempo 7
Tiempo fallos de equipo	00:32:23	00:00:00	00:00:00	01:50:00	02:00:00	03:00:00	01:00:00
Tiempos muertos	00:14:26	00:11:26	00:14:11	00:33:16	00:13:11	00:12:44	00:16:36
Tiempo total	00:46:49	00:11:26	00:14:11	02:23:16	02:13:11	03:12:44	01:16:36

Fuente: elaboración propia.

De la tabla XV es importante observar que estos tiempos no deben ser tomados en cuenta para el análisis del tiempo estándar y aunque ocurren en el proceso, no son parte del mismo. Es importante investigar e identificar áreas de mejora para eliminar o reducir estos tiempos ya que el tiempo promedio de estas actividades es de 1:28:19 con una desviación estándar de 1:09:46.

Siendo el tiempo estándar del proceso 4:40:12, (según cálculo de tiempo estándar) el tiempo muerto promedio del proceso 0:16:33 y el tiempo promedio de averías del equipo 1:11:46 (tabla XV); entonces se define la siguiente gráfica para su análisis.

Figura 17. **Análisis del proceso de sostenimiento**



Fuente: elaboración propia.

Los tiempos muertos representan un 5 % de tiempo total y es el tiempo que se pierde por espera de aceros; para esto se tiene contemplando el sistema de control de los aceros para reducir al mínimo este tiempo. El tiempo perdido por averías del equipo representa un 26 % del tiempo total y es un valor importante que debe ser transmitido al departamento de mantenimiento para que ellos trabajen en estas mejoras.

Adicionalmente, se observa que el tiempo estándar del proceso representa el 71 % del tiempo total y la operación del saneo del terreno representa el 14 % de este tiempo, equivalente a 0,83 horas; por este motivo se recomienda.

Finalmente, la empresa adquirió dos retroexcavadoras como martillo para esta operación y consigue eliminar esta operación del proceso desde el punto

de vista del boltec realizando el proceso, con esto se logra reducir el tiempo estándar del sostenimiento de 5,96 horas a 5,13 horas y también contribuye a disminuir ciertas averías originadas por el daño que sufre el brazo perforador al momento de realizar dicha operación con el brazo de volteo.

2.4. Indicadores de los procesos de excavación subterránea

Los indicadores son parámetros cuantitativos que se pueden determinar cuantitativa o cualitativamente y que sirven para comparar y evaluar en determinado momento, como se encuentra un proceso productivo. Generar indicadores para medir los procesos es vital para monitorear el proceso y tomar decisiones oportunas enfocadas hacia mantener la productividad.

Para desarrollar indicadores, se deben tomar en cuenta ciertas características: objetividad, sensibilidad, congruencia, consistencia y confiabilidad. Un indicador debe tener entonces una fácil interpretación y que identificar los valores para determinar el indicador nunca sea más costoso que el proceso que se está evaluando.

En el desarrollo de la mina subterránea, y los procesos en los que se enfoca el proyecto, es necesario desarrollar indicadores que contribuyan a monitorear y mantener informada a gerencia en un determinado momento, cual es el estado de los procesos y darle seguimiento a las mejoras implementadas.

A continuación, se desarrollan indicadores de proceso para los tres procesos para los cuales se implementaron mejoras: estos son perforación, carga de explosivos y sostenimiento. Para identificar los valores de los indicadores desarrollados basta con recopilar datos que ya en el presente se determinan y se encuentran en formatos y/o con el departamento de topografía.

Estos indicadores servirán en la sección 2.5 evaluación de las mejoras, para medir una situación inicial y otra después de las mejoras.

2.4.1. Indicador de eficiencia de voladura

- Objetivo del indicador

Controlar la eficiencia en el avance de cada voladura realizada en la excavación subterránea, está relacionado con la perforación y la carga de explosivos ya que, de estos dos procesos depende la efectividad del avance. Se trata de la relación entre el avance real obtenido y la longitud promedio de perforación realizada en campo.

- Fórmula a utilizar

$$Eficiencia\ de\ voladura = \frac{Avance\ real}{longitud\ de\ perforación} \times 100 = \frac{(m)}{(m)} \times 100$$

El avance real se consigue con la longitud que determine la medición topográfica realizada a cada voladura; y la longitud promedio de perforación se consigue en campo y es la longitud promedio a la que el operador del jumbo esté realizando su perforación.

El valor que se obtiene con este cociente no tiene dimensionales y se expresa en porcentaje para su mejor interpretación. El valor obtenido es la eficiencia de la voladura, si el valor es menor a 85 % se debe identificar el problema en los procesos de perforación y carga de explosivos; si el valor esta entre 85 % a 100 % o incluso más, el proceso está siendo realizado con eficiencia ya que está cumpliendo su objetivo de avance.

- Periodicidad y responsable

El indicador se deberá realizar mensualmente y estará a cargo del supervisor del proceso.

- Obtención de los datos

Se deberá solicitar los datos al departamento de topografía y con los datos que brinde el operador de jumbo que perfora el frente a evaluar.

2.4.2. Indicador de consumo específico de explosivo

- Objetivo del indicador

Evalúa si la cantidad de explosivo utilizada es la adecuada para desplazar el material que se requiere para una voladura y se define como la cantidad de explosivo requerido (Kg) para desplazar un volumen específico de material (m^3), está relacionado con la carga de explosivos y está orientado mantener monitoreados y controlados los costos del material explosivo para consumo en operación.

- Fórmula a utilizar

$$\text{Consumo específico} = \frac{\text{Peso de explosivo utilizado}}{\text{Volumen de material desplazado}} = \frac{(Kg)}{(m^3)}$$

La cantidad de explosivo utilizada se consigue realizando la suma del material explosivo utilizado en una voladura y convertirlo a kilogramos; el

volumen de material desplazado se determina mediante la multiplicación del área o sección de excavación por la longitud de avance real.

El valor que se obtiene indica la cantidad de explosivo utilizado para desplazar un metro cúbico de material y evalúa que tan eficiente fue este proceso respecto de la cantidad de material utilizado. Tomando como referencia las plantillas de carga de explosivos estándar que se presentarán más adelante el valor de referencia aceptable está en un rango de 1,9 a 2,3. Si el valor es menor se debe revisar el indicador de eficiencia de voladura y si el valor es mayor se debe realizar cambios ya que el material explosivo tiene un consumo mayor al que debería tener.

- Periodicidad y responsable

El indicador se deberá de realizar mensualmente y estará a cargo del supervisor del proceso.

- Obtención de los datos

Se deberá de solicitar los datos al departamento de topografía y el consumo de explosivos del vale de consumo que genera el encargado del polvorín.

2.4.3. Indicador de consumo de pernos en sostenimiento

- Objetivo del indicador

Medir el consumo de pernos instalados mediante la relación entre pernos instalados y el área a sostener, está relacionado con el sostenimiento y

orientado a mantener monitoreados y controlados los costos de los materiales consumibles en operación.

- Fórmula a utilizar

El número de pernos se consigue con el dato de número de pernos instalados en el frente a avaluar y el área a sostener se consigue mediante el cálculo de un área de túnel; en este caso perímetro de excavación por profundidad de la voladura. El perímetro de túnel tiene dos variaciones túnel de sección 5m x 5m y 6m x 5m, para las cuales el perímetro es de 12,85 m y 14,85 m respectivamente.

$$\text{Consumo de pernos} = \frac{\text{cantidad de pernos instalados}}{\text{perímetro} \times \text{profundidad}} = \frac{\text{unidades}}{(m)(m)} = \frac{\text{unidades}}{m^2}$$

El valor que se obtiene con este cociente expresa la cantidad de pernos instalados por metro cuadrado. Según el diseño de las diferentes clases de sostenimiento para este proyecto, se debe colocar una 1 perno cada metro cuadrado, por lo tanto, encontrar valores entre 0,8 a 1,2 se consideran aceptables, una valor más bajo indica que no se están colocando los pernos suficientes y el terreno puede quedar mal sostenido, un valor más alto indica sobre consumo en costo y debilitamiento del terreno debido a la alta cantidad de pernos y perforaciones realizadas.

- Periodicidad y responsable

El indicador se deberá de realizar mensualmente y estará a cargo del supervisor del proceso.

- Obtención de los datos

Se deberá de solicitar los datos al departamento de topografía y bodegas.

2.4.4. Indicador de consumo de mallas en sostenimiento

- Objetivo del indicador

Este indicador mide el consumo de mallas instalados mediante la relación entre el área de mallas instaladas y el área a sostener y se expresa en porcentaje para para una mejor visualización, está relacionado con el sostenimiento y orientado a mantener monitoreados y controlados los costos de los materiales consumibles en operación.

- Fórmula a utilizar

$$\text{Consumo de mallas} = \frac{(\text{mallas utilizadas})(\text{área de malla})}{\text{perímetro} \times \text{profundidad}} \times 100 = \frac{m^2}{m^2} \times 100$$

El área de las mallas se consigue mediante la multiplicación de la cantidad de mallas instaladas por el área de la malla que para este caso es contante e igual a 5,4 m² y el área a sostener se consigue mediante el cálculo de un área de túnel; en este caso perímetro de excavación por profundidad de la voladura. El perímetro de túnel tiene dos variaciones: túnel de sección 5m x 5m y 6m x 5m, para las cuales el perímetro es de 12,85 m y 14,85 m respectivamente.

El valor que se obtiene es el porcentaje de mallas utilizadas con respecto al área a sostener. Las mallas tienen que cubrir en su totalidad el área de cada voladura y por la naturaleza del proceso de traslapan unas mallas con otras.

Valiéndose del diseño de las clases de sostenimiento y de observación en campo se considera aceptable un porcentaje en el rango de 110 % y 130 %. Un valor menor no cubre en su totalidad el terreno y un valor mayor acarrea un sobre consumo de material.

- Periodicidad y responsable

El indicador se deberá de realizar mensualmente y estará a cargo del supervisor del proceso.

- Obtención de los datos

Se deberá solicitar los datos al departamento de topografía y bodegas.

2.5. Mejoras ejecutadas

A continuación se dan a conocer las mejoras ejecutadas a los procesos de excavación subterránea, orientadas a los procesos de perforación, carga de explosivos y sostenimiento.

2.5.1. Sistema de control de aceros de perforación

El sistema de control de aceros de perforación es la que se encarga de administrar todos los aceros utilizados por todos los equipos de perforación de la mina subterránea, con el fin de optimizar su consumo.

El sistema va desde identificar los tipos de aceros, codificarlos, darles uso, tener un formato de control donde se reporte el consumo, reafilar las brocas de perforación y reutilizar para prolongar su tiempo de vida. La implementación del

control de aceros como tal es un sistema complejo de implantar y que requiere de tiempo de adaptación del personal.

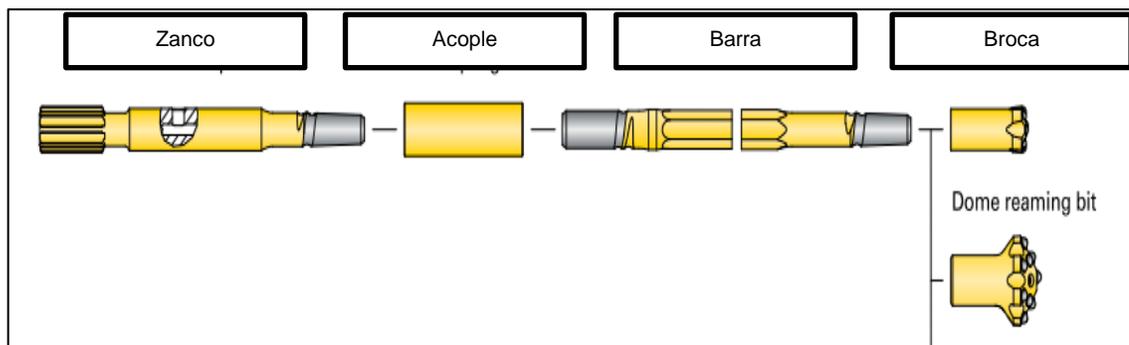
Durante la ejecución de la implementación del control de aceros para perforación, se solicitó realizar el control de aceros para todas las máquinas perforadoras ya que el objetivo es tener el control total de los aceros que se consumen.

2.5.1.1. Aceros

En mina subterránea se cuenta con variedad de aceros para la utilización de las máquinas ya que se tienen que adaptar a las necesidades de perforación, según el tipo de roca o terreno que se esté intentando perforar.

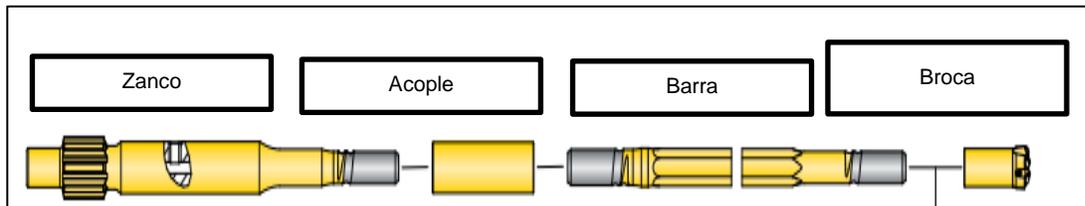
Como una idea general, la sarta de perforación del jumbo para perforación y del boltec para el sostenimiento, es de la siguiente manera:

Figura 18. **Ensamble de aceros de perforación del jumbo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Ensamble de aceros de perforación del boltec**



Fuente: elaboración propia.

- *Shank* o zanco

El zanco es el primer elemento en recibir la energía generada por la perforadora. Cada perforadora tiene un tipo distinto de zanco a su vez, cada aplicación tiene un tipo recomendado de zanco. Está fabricado de acero y se sujeta a la perforadora hidráulica con engranaje en su parte inicial y en la otra punta tiene rosca externa para el ensamble.

Entre sus principales características está el tipo de rosca, la longitud, el diámetro y el peso de cada zanco. Entre más dura sea el material a excavar más corta y de mayor diámetro y peso será el zanco a utilizar. La longitud dependerá de que tan profunda se quiera hacer la excavación para poder adentrar en ella los explosivos.

Figura 20. **Acople utilizado en mina subterránea para jumbo**



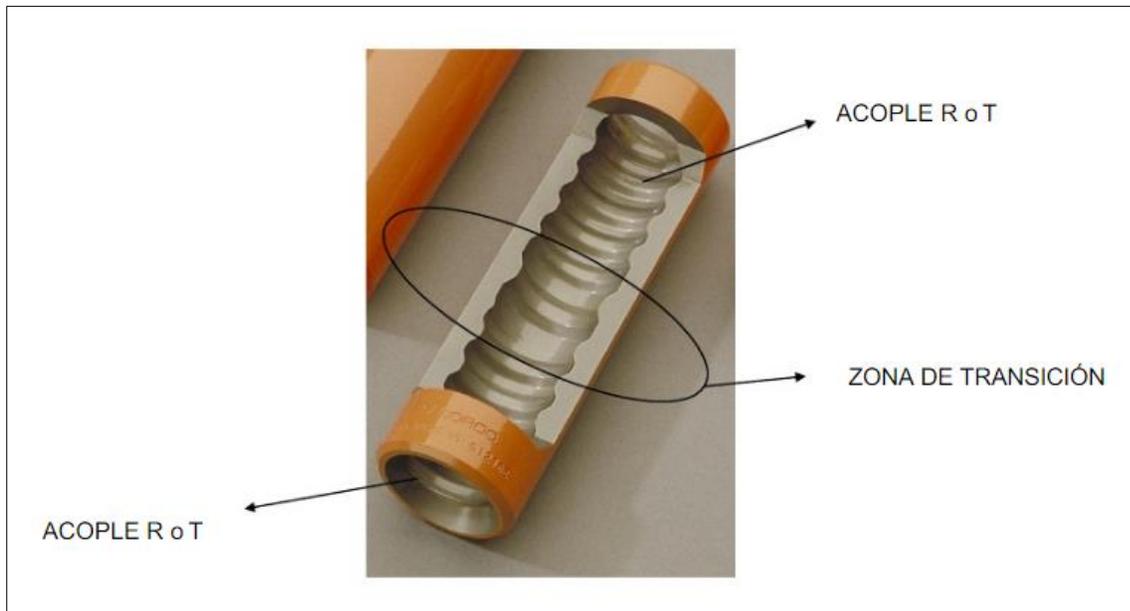
Fuente: FLORES VEGA, Freddy Ramiro. *Sostenimiento y revestimiento*.
<http://es.slideshare.net/freddyramirofloresevega/8sostenimiento-y-revestimiento-de-tuneles>.
Consulta: 22 de noviembre de 2014.

- *Coupling* o acople

El acople es el segundo elemento de transmisión de energía. Su medida dependerá del tipo de rosca que tengan los elementos a conectar (el zanco y la barra). Son tradicionalmente los elementos más débiles de la sarta de perforación.

Está diseñado para ensamblar el zanco con la barra y contiene dos roscas internas. Las roscas internas pueden ser ambas de una misma estilo de rosca o una de un estilo de rosca y en su otro extremo de otro tipo de rosca, pueden ser de tipo R y de tipo T, esto con el fin de poder adaptar otro tipo de zanco o barra dependiendo el tipo de material a perforar.

Figura 21. **Acople utilizado en mina subterránea para jumbo**



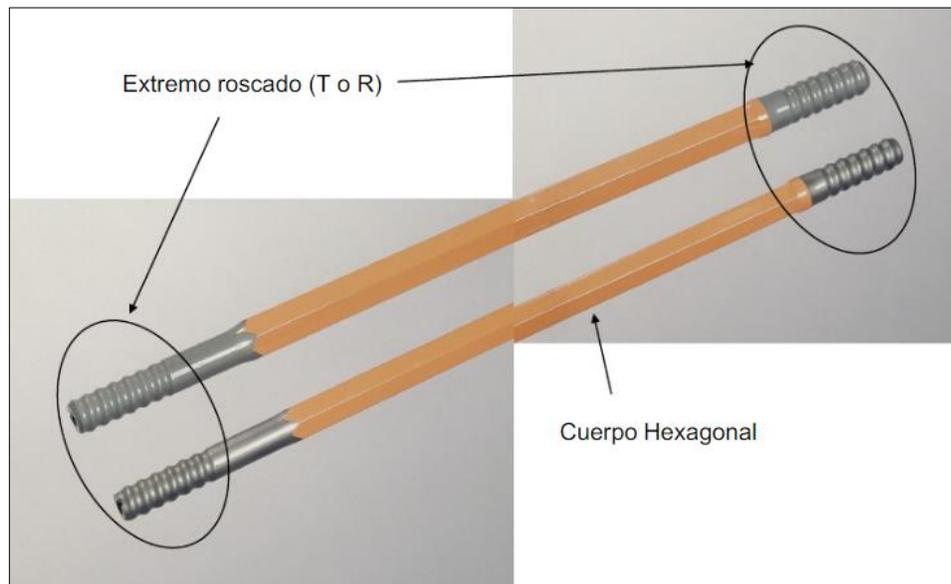
Fuente: FLORES VEGA, Freddy Ramiro. *Sostenimiento y revestimiento*.
<http://es.slideshare.net/freddyramirofloresvega/8sostenimiento-y-revestimiento-de-tuneles>.
Consulta: 22 de noviembre de 2014.

- Barra

Los acoples reciben la energía del zanco y lo transmiten a las barras de extensión, Es de acero y su diseño depende del largo necesario que se requiera en campo, van desde los 1,5m hasta un máximo de 4,5 m. En su parte

inicial tiene rosca externa que se ensambla con el acople y en la otra parte, una rosca externa que se ensambla con la broca.

Figura 22. **Barra utilizada en mina subterránea para jumbo**



Fuente: FLORES VEGA, Freddy Ramiro. *Sostenimiento y revestimiento*.

<http://es.slideshare.net/freddyramirofloresevega/8sostenimiento-y-revestimiento-de-tuneles>.

Consulta: 25 de noviembre de 2014.

- **Broca**

Acero diseñado para perforar el macizo rocoso, consta de un faldón acerado de rosca interna y en la parte final, con un diseño de botones centrales y periféricos fabricados con tungsteno y agujeros para el barrido, los cuales mediante los principios de la perforación cortan el terreno, y lo llevan hacia la salida del barreno. Tienen una inclinación de 35 grados esto con el fin de poder realizar efectivamente el corte.

Figura 23. **Brocas utilizadas en mina subterránea**



Fuente: FLORES VEGA, Freddy Ramiro. *Sostenimiento y revestimiento*.
<http://es.slideshare.net/freddyramirofloresvega/8sostenimiento-y-revestimiento-de-tuneles>.
Consulta: 25 de noviembre de 2014.

2.5.1.2. Codificación

Debido al análisis de tiempos y de observaciones que se realizó a cada uno de los procesos por separado se pudo detectar los atrasos que ocurrían al momento de realizar cada uno de ellos de los cuales era la falta de piezas para el ensamble, y brocas que estuvieran en las condiciones adecuadas para poder realizar el trabajo de excavación en mina subterránea.

Por tal motivo se planteó y ejecutaron los siguientes controles para poder mejorar en ese proceso:

- La codificación de aceros se realizó en cada parte del ensamble de perforación, para esta tarea se hizo necesaria la adquisición de una herramienta troqueladora manual que funciona a base de aire comprimido y agua, solicitada a la empresa fabricante de los aceros. Dicha herramienta fue proporcionada de forma gratuita ya que por la cantidad de repuestos comprados el proveedor decidió donarla.
- Para las brocas utilizadas y que necesitan ser afiladas, se implementó la capacitación al personal para que pudiera realizar el correcto reafilado de los botones de tungsteno que cortan el macizo rocoso y que pueden tener una segunda vida útil.
- Una vez el acero ya cuenta con la codificación y realizado el reafilado se procede a identificar la broca y se le registra una segunda o en última instancia una tercera vida útil si el acero lo permite. La determinación de la vida útil se hace de forma visual si la broca se encuentra muy dañada simplemente se desecha.

En la mina subterránea se cuenta con 15 tipos de aceros diferentes que comprenden la sarta de perforación de las máquinas. La máquina de perforación de desarrollo tiene cuatro aceros, la máquina de producción simba y cubex tienen cuatro y tres tipos de aceros respectivamente. La codificación en cada acero, se realizó de la siguiente manera y queda registrada en la siguiente:

Tabla XVI. **Asignación de códigos para cada tipo de acero**

EQUIPO	HERRAMIENTA DE PERFORACIÓN	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE CÓDIGO
Simba de producción	DRILL BIT 3 1/2" (89 mm)	Broca 89 mm Simba de Producción	PB-m-n	Producción Bit- mes- correlativo en número
	DRILL BIT 6" 152 mm	Broca 152 mm Simba de Producción	DB-m-n	Drill Bit-mes- correlativo en número
	DRILL TUBE ST58 1830mm	Barra para Simba de Producción 1.83m	DT-m-n	Drill Tube-mes- correlativo en número
	SHANK ADAPTER ST58	Shank para Simba de Producción	SP-m-n	Shank Producción-mes- correlativo en número
Simba de cables de producción	DRILL BIT R32 57mm	Broca 57 mm Simba de Cable Bolting	BC-m-n	Bit Cables-mes- correlativo en número
	6' BAR MF (Male/Female)	Barra para Simba de Cables 1.8m	ER-m-n	Extension - Rod-mes- correlativo en número
	SHANK ADAPTER T32	Shank para Simba de Cables	SC-m-n	Shank Cables-mes-

Continuación de la tabla XVI.

				correlativo en número
Jumbo	DRILL BIT 45mm	Broca 45 mm para Jumbo	JB-m-n	Jumbo Bit-mes-correlativo en número
	12' ROD T38	Barra para Jumbo	JR-m-n	Jumbo Rod-mes-correlativo en número
	COUPLING	Coupling para Jumbo	CJ-m-n	Coupling Jumbo-mes-correlativo en número
	SHANK ADAPTER	Shank para Jumbo	SJ-m-n	Shank Jumbo-mes-correlativo en número
Boltec	DRILL BIT 37mm	Broca 37mm para Boltec	BB-m-n	Boltec Bit-mes-correlativo en número
	BARRA BOLTEC	Barra para Boltec	BR-m-n	Boltec Rod-mes-correlativo en número
	COUPLING	Coupling para Boltec	CB-m-n	Coupling Boltec-mes-correlativo en número
	SHANK ADAPTER	Shank para Boltec	SB-m-n	Shank Boltec-mes-correlativo en número

Fuente: elaboración propia.

Para darle código a cada mes se asigna la siguiente nomenclatura:

Tabla XVII. Asignación de nomenclatura para cada mes

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ag	Sep.	Oct	Nov	Dic
Asignación	E	F	Mr	Ab	My	In	Jl	Ag	S	O	N	D

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta una referencia del marcaje de aceros. La codificación se realiza con una herramienta manual especialmente diseñada por el fabricante, y que funciona a base de agua (3 bares) y aire comprimido (8 bares). Con cabeza desmontable para diferentes tipos de marcajes. Y con las brocas sujetadas a una mesa especialmente diseñada para la labor.

Figura 24. **Ejemplo de marcaje de aceros**



Fuente: elaboración propia.

La codificación se realiza con una herramienta manual especialmente diseñada por el fabricante, y que funciona con base en agua (3 bares) y aire comprimido (8 bares). Con cabeza desmontable para diferentes tipos de marcajes. Y con las brocas sujetadas a una mesa especialmente diseñada para la labor.

2.5.1.3. Formato de control

Debido a que los formatos se tienen que acoplar a las necesidades de llenado de cada tipo de máquina, después de varios diseños, se llegó finalmente a dos tipos de formatos de control de aceros.

El primero formato pertenece al llenado del jumbo y el boltec, donde se colocan los datos generales, fecha, equipo, correlativo, ubicación, códigos utilizados durante el turno, metros lineales perforados. Este formato nos brinda la información necesaria para saber cuántos metros lineales se perforaron con cada tipo de acero antes de que ya no se puedan utilizar. Adicionalmente, se especifican los aceros que tuvieron fallos y que pueden ocurrir por varias causas, como lo son fisuras, quebraduras totales, dobladuras, desgaste normal del acero, entre otros.

Figura 25. Formato de control de aceros para jumbo y boltec

CONTROL DE ACEROS		Minera San Rafael GUATEMALA				
FECHA _____ EQUIPO _____ REPORTE NO. _____						
UBICACIÓN _____ OPERADOR _____		TURNO			<input type="checkbox"/> Día	<input type="checkbox"/> Noche
BRAZO IZQUIERDO						
Aceros	Shank	Acople	Barra	Broca	No. Perforaciones	Metros Perforados
Código						
BRAZO DERECHO						
Aceros	Shank	Acople	Barra	Broca	No. Perforaciones	Metros Perforados
Código						
OBSERVACIONES _____						

Fuente: elaboración propia.

El segundo formato corresponde al llenado de la simba de producción y la simba de cables, en la que el objetivo que persigue básicamente el mismo, con la diferencia en el diseño, acoplado a las necesidades de llenado de estas máquinas. Ya que en estas se utiliza más barras simultáneamente y diferentes diámetros de broca; debido a que se realizan perforaciones de tiro largo de diferente distancia y diámetro.

Figura 26. **Formatos de control de aceros de simba de producción y cables**

Minera San Rafael
GUATEMALA

REPORTE ACEROS DE PERFORACIÓN

FECHA _____ EQUIPO N° _____ REPORTE N° _____

CÁMARA _____ TURNO D N

OPERADOR: _____ FIRMA: _____
AYUDANTE: _____ FIRMA: _____

HORÓMETRO	HI	HF
MOTOR DIESEL		
PERCUSIÓN		

Aceros	Shank	Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4	Barra 5	Barra 6	Barra 7	Barra 8	Barra 9	Broca	Metros
Código												

Aceros	Shank	Barra 10	Barra 11	Barra 12	Barra 13	Barra 14	Barra 15	Barra 16	Barra 17	Barra 18	Broca	Metros
Código												

OBSERVACIONES: _____

SUPERVISOR: _____
FIRMA: _____ FECHA: _____

Fuente: elaboración propia.

En la columna *shank*, acople, barra y broca se coloca el código de cada acero; se coloca el número de perforaciones realizadas y se multiplica por la longitud de perforación del frente actual para identificar los metros perforados.

En este formato se colocan varias columnas para barra ya que en este caso las barras son acoplables y la longitud e perforación varía según el diseño.

Cuando un acero se estropea por cualquier motivo, se requiere un cambio, entonces, escribe el nuevo código del acero y se copian los que no se cambiaron realizando el mismo procedimiento para identificar los metros perforados con conjunto de aceros.

2.5.1.4. Taller de afilado

El taller de afilado de brocas es el lugar destinado para el ingreso y entrega de aceros de perforación y con las herramientas para el re afilado de las brocas. El taller consta de un espacio techado para el re afilado de brocas y el almacenamiento de las mismas y un contenedor que almacena todos los aceros nuevos que se codifican para darles salida.

El espacio techado cuenta con dos columnas y un techo laminado, que resguardan de la intemperie al colaborador de turno, 2 mesas metálicas de trabajo, servicios de agua (3 bar) y aire comprimido (8 bar) derivados de los servicios de mina, una mesa de trabajo para el re afilado de brocas y el piso es una fundición de concreto de 4 m de largo x 5 m de ancho y 8 cm de espesor para considerar un trabajo más ordenado y limpio.

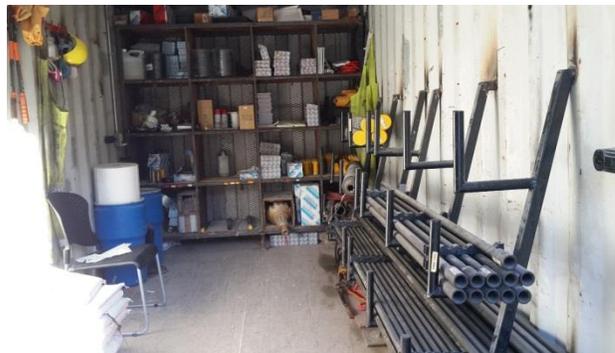
En este lugar se encuentran reunidos todos los aceros que se utilizan en mina subterránea para la perforación, inicialmente se incluían los procesos de perforación para el desarrollo de mina, aceros de jumbo y boltec, pero ya que este es un sistema de control total para los aceros utilizados se incluyeron los procesos de producción de mina subterránea, simba y cubex.

Figura 27. **Taller de afilado de brocas**



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Contenedor de taller de afilado y control de aceros**



Fuente: elaboración propia.

2.5.1.5. Afilado de brocas

El afilado de brocas de perforación persigue extender la vida útil de las brocas y consiste en reafilar las brocas utilizadas por las máquinas perforadoras, y con esto conseguir tener una siguiente vida útil hasta que la broca tenga un desgaste considerable de desecho.

El reafilado de las brocas dependerá del desgaste del acero de la broca y el desgaste de los botones de tungsteno al salir de la mina y en promedio se afila dos veces. El parámetro de reafilado de broca consiste en que el perforista identifique en promedio un tercio de desgaste, respecto del diámetro del botón completo.

Si el perforista sigue utilizando la broca, consigue perforar un tanto más pero que la broca ya no entre el parámetro de reafilado se desechará.

Según el historial de reafilado de brocas, en otras minas, se consigue un aumento del 200 % de la vida útil de las brocas con el sistema implementado por completo. Según estos datos, la reducción de costos es considerablemente buena y permite realizar una inversión en la implementación del reafilado debido a su efectividad.

Figura 29. **Afiladora de brocas con copas de afilado intercambiables**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Demostración de broca de 45 mm afilada del botón periférico**



Fuente: elaboración propia.

2.5.1.6. Procedimiento operativo

Para poder garantizar la uniformidad, reproducibilidad y consistencia de las características de los procesos realizados en una empresa es necesario el adecuado ordenamiento del personal mediante procedimientos operativos estandarizados (POE), a partir de los cuales se detallan funciones y responsabilidad. Estos son aquellos procedimientos escritos que describen y explican cómo realizar una tarea para lograr un fin específico, de la mejor manera posible.

Un procedimiento operativo estándar consiste en la redacción cronológica de pasos a realizar para llegar a cumplir un objetivo concreto. Las empresas de distinta índole realizan estos procedimientos con el fin de mejorar el rendimiento de sus empleados y garantizar el cumplimiento efectivo de tareas independiente de quien las realice, ya que el documento explica paso a paso la tarea a ejecutar. Un procedimiento bien redactado evita las indefiniciones y reduce el margen de dudas frente a una situación a resolver.

El procedimiento operativo del sistema de control de aceros se trasladó a un formato de procedimientos de MSR con el objetivo de que la información

sea un procedimiento oficial de MSR para tener un respaldo y compartir la información con el personal al que va dirigido.

En la siguiente figura se muestra el primer procedimiento que se realizó para poder las inicio al sistema de control de aceros.

Figura 31. **Procedimiento operativo de control de aceros MSR**

	DEPARTAMENTO		
	MINA UG		
	CÓDIGO	Copia No.	HORA
	PERFORANTE	1	1/2
FECHA DE ELABORACIÓN: 15/12/2014 AUTOR: LUIS GARCIA		REVISIÓN No. 01	
CONTROL DE ACEROS DE PERFORACIÓN			
<p>Objetivos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Controlar el consumo de aceros de perforación. • Evitar el desperdicio en el consumo de aceros. • Mejorar los tiempos de entrega de aceros. • Ampliar la vida útil de las brocas, realizando el re afilado. 			
<p>Descripción del sistema</p> <p>El sistema de control de aceros de perforación es la que se encarga de administrar todos los aceros utilizados por todos los equipos de perforación de mina subterránea, con el fin de optimizar su consumo.</p>			
<p>Dirigido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personal operativo de mina subterránea. • Supervisores de mina subterránea. 			
<p>Delimitación de responsabilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • El responsable de los aceros de turno, es el encargado de la entrega, administración y recepción de aceros durante su turno en todo momento. • El responsable de los aceros de turno, es el encargado durante su turno de administrar el inventario de aceros y mantener el taller de afilado con disponibilidad de cualquier acero requerido. • El responsable de los aceros de turno, es el encargado de codificar aceros nuevos, afilar brocas con una siguiente vida útil y tener el control de re afilado de brocas. 			
REVISIÓN: SAMUEL DAVILA/JULIO RANGEL. VoBo. _____			Página 1

Continuación de la figura 31.

	DEPARTAMENTO		
	MINA UG		
	CÓDIGO	Corra No.	HORA
	Pendientes	1	2/2
FECHA DE ELABORACIÓN: 15/12/2014 AUTOR: LUIS GARCIA			
REVISIÓN No. 01			
CONTROL DE ACEROS DE PERFORACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • El responsable de los aceros de turno, es el encargado de tabular los datos del turno anterior para tener al día y en control en sistema de control de aceros. • El responsable de los aceros de turno, responde a todo lo relacionado directa o indirectamente con cualquier requerimiento de aceros. 			
<p>Procedimiento para el manejo de aceros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los formatos de control de aceros para todas las maquinas estarán en el taller de aceros y afilado con el responsable de los aceros que este de turno. • Cada operador al que se le asigne una maquina en el inicio de turno es responsable de ir al taller de aceros y afilado a solicitar los aceros que necesite, que normalmente son brocas. • El encargado de aceros decidirá en conjunto con el operador, la cantidad y el tipo de brocas a usar (brocas afiladas o brocas nuevas). • El operador ya en campo, debe utilizar responsablemente los aceros asignados, brocas, barras, sancos y acoples. • El operador, al finalizar el turno deberá realizar y entregar el formato de control de aceros debidamente lleno y deberá llevar de vuelta al taller de aceros y afilado cada una de las brocas asignadas, en cualquier caso: nuevas, usadas, desgastadas, quebradas. 			
REVISIÓN: SAMUEL DAVILA/JULIO RANGEL. VerBo. _____			Página 2

Fuente: Minera San Rafael.

2.5.2. Plantillas de perforación estándar

Conseguir un estándar en la perforación de frentes de trabajo es vital para conseguir un resultado uniforme y efectivo en el trabajo, por tal motivo se realiza esta plantilla de perforación estándar para los diferentes tipos de frentes de trabajo.

El estándar se realiza con base a la observación, comentarios de los operadores, experimentación, medición de resultados.

En mina existen dos secciones diferentes de excavación. La primera de 5 m de alto y 5 m de ancho, la segunda con 6 m de alto y 5 m de ancho y la tercera el des quinche, es el inicio de la perforación de un acceso y que debido al posicionamiento de la pluma de jumbo se debe realizar con otro tipo de plantilla para ser ejecutada. Todas las secciones son de forma de semicircunferencia por diseño de excavación.

El resultado final de plantillas de perforación se oficializó a los mineros de todos los grupos de trabajo como la base o el parámetro promedio de perforación a realizar en los frentes.

Aunque en excavación subterránea la opinión y decisión del perforista, es importante y respecto del tipo de frente de trabajo que observe, realizar los cambios prudentes partiendo del estándar.

2.5.2.1. Frente de sección 6m–5m

En estos frentes se realizan 84 barrenos los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla XVIII. Descripción de barrenos para sección 6m-5m

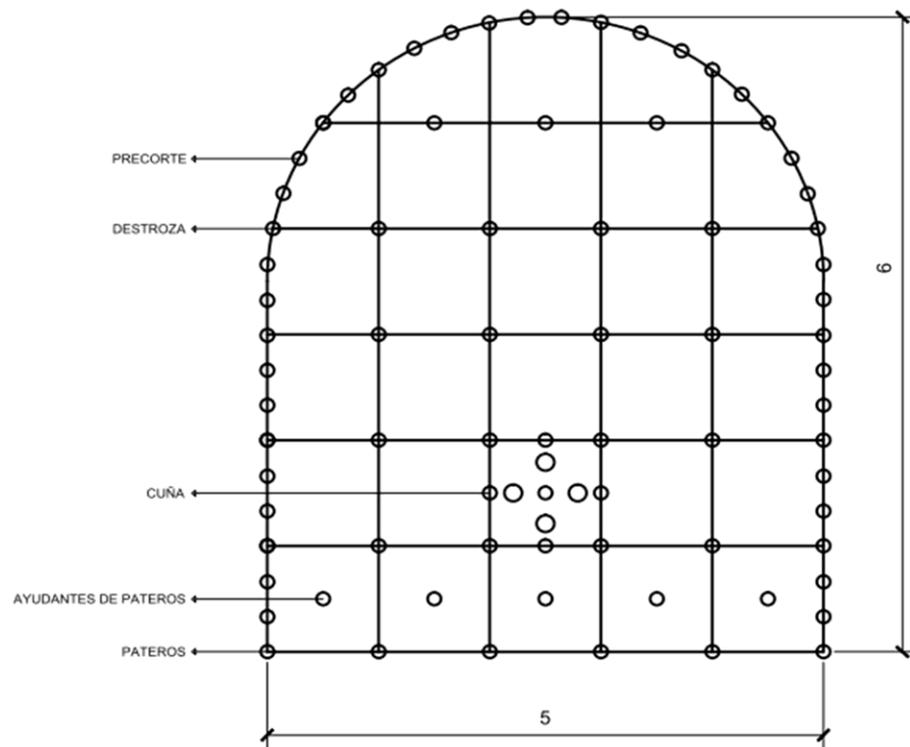
Cantidad	Descripción	Diámetro en milímetros
6	<p>Pateros</p> <p>Agujeros que se encuentran por debajo y tienen la función de arrancar el material de la parte del piso de la voladura.</p>	45
5	<p>Ayudantes de patero</p> <p>Agujeros que tienen la función de ayudar con el primer corte de los pateros para garantizar el buen corte del piso.</p>	45
49	<p>Precorte</p> <p>Agujeros que tienen la función de realizar un buen corte en las paredes y techo de la voladura sin dañarlo, ya que se cargan unos y otros no.</p>	45
19	<p>Destroza</p> <p>Agujeros que tienen la función de arrancar el material dentro de la sección de voladura.</p>	45
5	<p>Cuña</p> <p>Agujeros que tienen la función de iniar efectivamente la voladura, creando la salida en dirección a los agujeros escareados de salida.</p>	45
4	<p>Escareados de primer salida</p> <p>Agujeros que se realizan de un mayor diámetro y tienen la función de ser la primer salida en una voladura.</p>	102

Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Plantilla de perforación de frentes de 6m x 5m**

Frente de 6m x 5m

Plantilla de perforación estándar



Datos técnicos

Barrenos normales de 45 o 51 mm
Barrenos escareados de 102 mm
Pateros emboquillados con tubo PVC
Barrenos de pre corte con separación de 0,33 m entre si

Fuente: elaboración propia.

2.5.2.2. Frente de sección 5m–5m

En estos frentes se realizan 73 barrenos los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla XIX. Descripción de barrenos para sección 5m – 5m

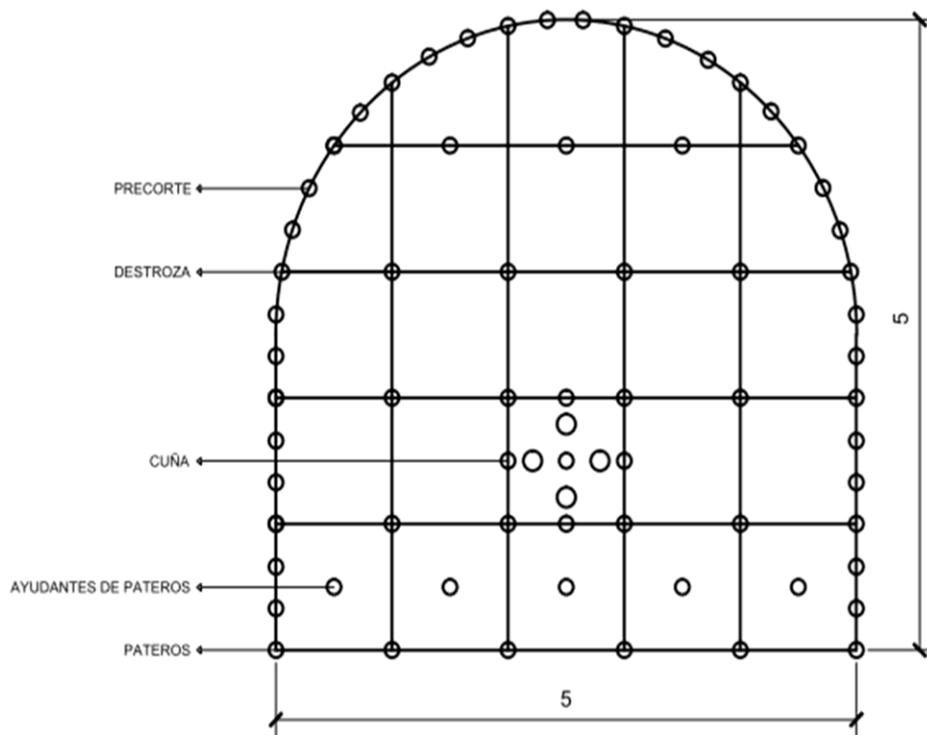
Cantidad	Descripción	Diámetro en milímetros
6	Pateros Agujeros que se encuentran por debajo y tienen la función de arrancar el material de la parte del piso de la voladura.	45
5	Ayudantes de patero Agujeros que tienen la función de ayudar con el primer corte de los pateros para garantizar el buen corte del piso.	45
42	Precorte Agujeros que tienen la función de realizar un buen corte en las paredes y techo de la voladura sin dañarlo, ya que se cargan unos y otros no.	45
15	Destroza Agujeros que tienen la función de arrancar el material dentro de la sección de voladura.	45
5	Cuña Agujeros que tienen la función de iniciar efectivamente la voladura, creando la salida en dirección a los agujeros escareados de salida.	45
4	Escareados de primer salida Agujeros que se realizan de un mayor diámetro y tienen la función de ser la primer salida en una voladura.	102

Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Plantilla de perforación de frentes de 5m x 5m**

Frente de 5m x 5m

Plantilla de perforación estándar



Datos técnicos

Barrenos normales de 45 o 51 mm
Barrenos escareados de 102 mm
Pateros emboquillados con tubo PVC
Barrenos de pre corte con separación de 0,33 m entre si

Fuente: elaboración propia.

2.5.2.3. Des quinche 5m – 5m

Se define como desquinche al primer disparo para iniciar un acceso a mineral y en el cual el brazo del jumbo no puede posicionarse en forma perpendicular al frente de trabajo, ya que no tiene espacio. Debido a esto la plantilla se cambia y los barrenos se realizan con una inclinación de 45 grados con respecto del frente de trabajo.

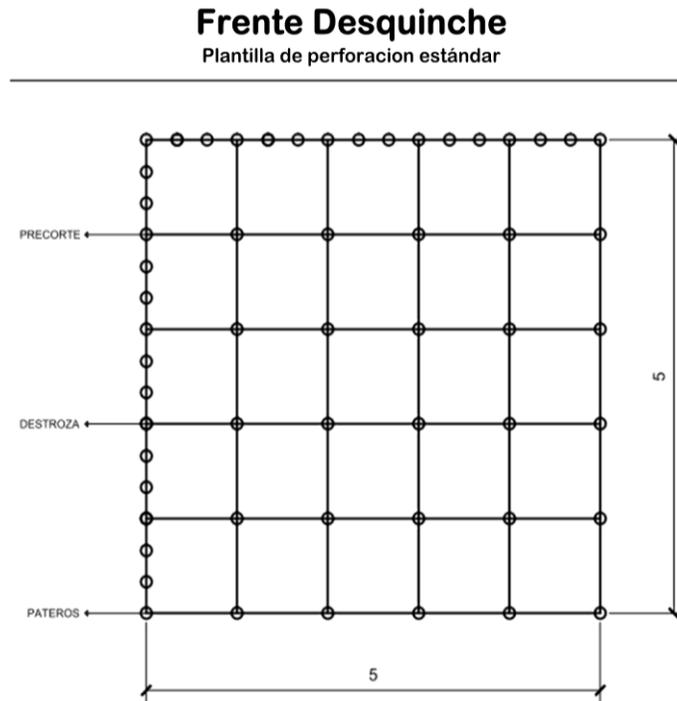
En estos frentes se realizan 60 barrenos los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla XX. Descripción de barrenos para sección 5m-5m

Cantidad	Descripción	Diámetros en milímetros
6	Pateros Agujeros que se encuentran por debajo y tiene la función de arrancar el material de la parte del piso de la voladura.	45
34	Precorte Agujeros tiene la función de realizar un buen corte en las paredes y techo de la voladura sin dañarlo, ya que se cargan unos y otros no.	45
20	Destroza Agujeros que tienen la función de arrancar el material dentro de la sección de voladura.	45

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Plantilla de perforación de desquinche 5m x 5m**



Datos técnicos
Barrenos normales de 45 o 51 mm
Pateros emboquillados con tubo PVC
Barrenos de pre corte con separación de 0,33 m entre si

Fuente: elaboración propia.

2.5.3. Técnicas y secuencia de perforación

Es importante seguir una secuencia de perforación con el objetivo de evitar tapan las perforaciones y que la carga se realice sin ningún problema, la efectividad de la voladura requiere cargar todos las perforaciones realizadas o al menos la mayoría. En algunas ocasiones, las perforaciones se tapan por el

tipo de terreno (arcilloso, muy fracturado, cavernoso). Siguiendo las técnicas de perforación se puede realizar un buen trabajo.

- Descripción de la secuencia de perforación

Primero, se realizan las perforaciones llamadas pateros y se les coloca un tramo de tubo de PVC de 1 ½ pulgadas de diámetro, desde el inicio del agujero hacia un mínimo de 50 cm hacia adentro del agujero, con el fin de los agujeros no se vuelvan a tapar, si el terreno de la perforación se desprende al perforar desde arriba hacia abajo.

Luego se inicia a perforar de arriba para abajo para evitar tapar las perforaciones con el detrito y terreno desprendido. En la medida de lo posible, de debe realizar una perforación en donde participen los dos brazos del jumbo y cada brazo se encargue de su lado, a fin de realizar la perforación simétrica y eficientemente en el menor tiempo.

2.5.4. Sistema de control de explosivos

El sistema de control de explosivos, administra el consumo de todo el material explosivo utilizado dentro de la mina subterránea con el fin de optimizar el uso. Con la implementación de este sistema se controla su material explosivo utilizado para cada disparo de desarrollo y producción realizado y se asignan responsables para cada disparo lo que conlleva a controlar de una mejor manera el proceso.

Con este sistema se obtienen beneficios que van desde la reducción del consumo, el asignar responsables directos en el manejo y utilización de estos materiales, el control de cantidad y tipo de explosivo por voladura, el manejo de

indicadores de operación como tal es el caso del consumo específico de este material.

Para asignar más responsabilidad en el uso de estos materiales, se realizó un listado con el personal autorizado para manipular y solicitar explosivo, el cual incluye un minero responsable de firmar la salía del material al polvorín y la forma de autorización y asesorías legal del experto en explosivos de turno; el listado es publicado con fotografía en el polvorín, con el fin de tener un mejor control y orden en la manipulación.

Cualquier otra persona que a partir de la implementación use materiales explosivos sin estar autorización será penalizada severamente según sea el caso.

2.5.4.1. Formato de control

El formato de control de aceros es un vale para dejar una constancia de cada voladura realizada en la mina subterránea. En este él se deja constancia de la fecha, el turno, la ubicación del disparo, el tipo de terreno y la salida, devolución y consumo de material explosivo.

Luego la firma del responsable de la voladura (oficial de voladura), el supervisor de turno y el experto en explosivos de turno. Con este vale se puede llevar un registro digital actualizado de la cantidad de explosivo consumida y así poder tomar mejores decisiones respecto del material explosivo. El vale de consumo de explosivos consta de una original que pertenece a MSR, que incluye una plantilla de carga en la que se especifica cual fue la lógica de la numeración utilizada y una copia del vale para el proveedor.

2.5.4.2. Carga de explosivo estándar

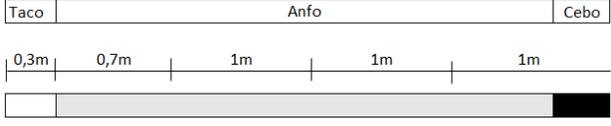
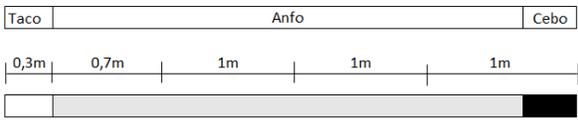
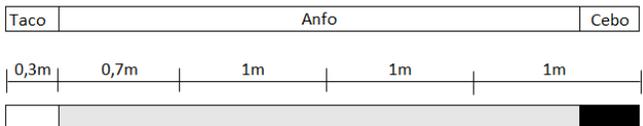
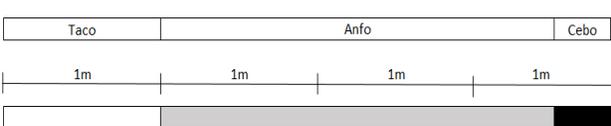
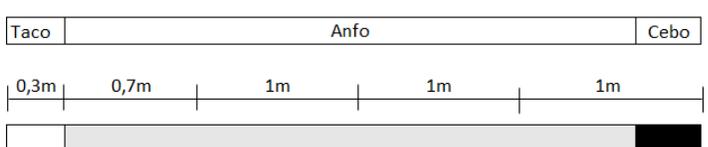
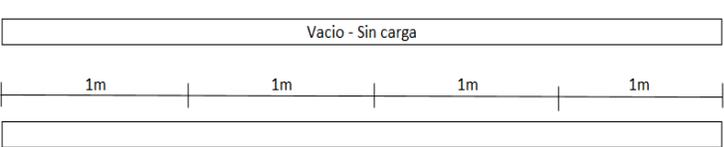
La carga de explosivos estándar sirve para indicar un parámetro estándar de consumo de explosivos en un frente determinado y determina el tipo y la cantidad de explosivo a utilizar en frente con características normales. La cantidad de explosivo a utilizar varía respecto de la sección y la profundidad de la perforación y el tipo de explosivo. También, varía respecto de las características de la roca en el frente actual y debe ser determinado por el responsable de la voladura.

El responsable de la voladura, debe realizar la inspección previa del frente para conocer las características actuales de la roca y las características de la perforación para realizar la solicitud de material explosivo a utilizar tomando como base la carga de explosivos estándar.

Ya que la carga de explosivos estándar depende de la sección del frente, en el desarrollo de la mina subterránea se cuenta con 3 tipos de sección: 6 m x 5 m, 5 m x 5 m y desquinche 5 m x 5 m para los cuales se da a conocer la carga de explosivos estándar con las plantillas de carguío presentadas posteriormente.

Tomando como referencia las plantillas e perforación estándar y el nombre que se le asigna a cada uno de los grupos de barrenos, se desarrolla la siguiente tabla que define cual es el estándar de carga para cada agujero para conseguir una voladura efectiva al menor costo posible. La ilustración muestra una vista del perfil cada agujero y una longitud de 4 metros para poder apreciar de mejor manera la carga.

Tabla XXI. Estándar de carga para todos los tipos de barrenos

Descripción	Diámetro en milímetros
<p>Pateros</p> 	45
<p>Ayudantes de patero</p> 	45
<p>Pre corte</p> 	45
<p>Destroza</p> 	45
<p>Cuña</p> 	45
<p>Escareados de primer salida</p> 	102

Fuente: elaboración propia.

2.5.4.3. Procedimiento operativo

El procedimiento operativo del sistema de control de explosivos se trasladó a un formato de procedimientos de MSR con el objetivo de que la información sea un procedimiento oficial de MSR para tener un respaldo y compartir la información con el personal al que va dirigido.

Figura 36. El procedimiento se muestra a continuación: Procedimiento de control de explosivos MSR

	DEPARTAMENTO		
	MINA UG		
	CÓDIGO	Coma No.	HORA
	PENDIENTE	1	1/2
FECHA DE ELABORACIÓN: 15/12/2014 AUTOR: LUIS GARCIA		REVISIÓN No. 01	
PROCEDIMIENTO DEL CONTROL DE EXPLOSIVOS			
<p>Objetivos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Controlar el consumo de explosivos. • Evitar el desperdicio en el consumo de explosivos. • Mejorar la seguridad en el transporte y manejo del material explosivo. <p>Descripción del sistema</p> <p>El sistema de control de explosivos, sirve para controlar la cantidad consumida de explosivos a través de responsables designados y definición de cantidad que mejor se adapta al tipo de terreno en el que se trabaja; a través de un vale, en el cual se ingresan los datos de salida, devolución y consumo de todos los tipos de explosivos utilizados.</p> <p>Dirigido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personal operativo de mina subterránea. • Supervisores de mina subterránea. <p>Procedimiento operativo</p> <ul style="list-style-type: none"> • El vale de consumo de explosivos, estará siempre en el polvorín para su uso, al momento de solicitar explosivo. • El Oficial de Voladuras o la persona autorizada para este fin, será el encargado de hacer la solicitud de material y pedir el vale de consumo de explosivos al experto en explosivos. 			
REVISIÓN: SAMUEL DAVILA/JULIO RANGEL. VoBo. _____			Página 1

Continuación de la figura 36.

	DEPARTAMENTO		
	MINA UG		
	CÓDIGO	Copa No.	Hoja
	Polvorin:	1	2/2
FECHA DE ELABORACIÓN: 15/12/2014 AUTOR: LUIS GARCIA			
REVISIÓN No. 01			
PROCEDIMIENTO DEL CONTROL DE EXPLOSIVOS			
<ul style="list-style-type: none"> • Es responsabilidad del encargado de voladuras (carguio) en llenar el vale de consumo de explosivos con datos verídicos llenando las casillas que aplique en el vale; la persona del Polvorin debe cerciorarse que estén las firmas autorizadas y sea la persona asignada para el despacho del explosivo, si no hay alguna de estas no se despacha. • El vale se realiza por frente de trabajo, (frente de desarrollo o cámara de producción al igual si hay voladuras secundarias para triturar una roca de sobre tamaño o retirar una condición insegura). • El oficial de Voladuras es el responsable del transporte uso y manejo de los explosivos dentro de mina subterránea. • Al finalizar de cargar un frente de trabajo, hará el recuento del material sobrante y lo reportara en su vale asignado a esa frente, al finalizar el turno entregara al experto los sobrantes para su revisión y en mutuo acuerdo firmen de conformidad la salida, devolución y consumo de material. • El oficial de Voladuras se queda con el vale original y entregara a finalizar su turno al supervisor de mina; el polvorin del explosivo se quedara con la copia. • El Supervisor autorizado deberá firmar los vales antes de la salida del Polvorin; todo vale utilizado será archivados en el área asignada. 			
REVISIÓN: SAMUEL DAVILA/JULIO RANGEL. VoBo. _____			
Página 2			

Fuente: elaboración propia.

2.5.5. Plantillas de carga de explosivos

Las plantillas de carga de explosivos sugieren una base teórica inicial dirigida al personal operativo encargado de esta actividad. Estas plantillas controlan el tipo y cantidad de explosivo a utilizar en cada una de las secciones de excavación a cargar en condiciones normales.

Es importante resaltar que debido a circunstancias no controladas tales como terreno malo, presencia excesiva de agua, ausencia de equipos de carga, entre otros; el responsable de la carga debe decidir cambios en la cantidad y tipo de materiales a pedir en función de la efectividad de la voladura.

La plantilla de carga de explosivos persigue definir un estándar en cantidad y tipo de explosivos, ya que este material merece un especial cuidado y se debe controlar la cantidad consumida, devolver a exactitud el material sobrante y no caer en un sobre consumo de material; manteniendo de esta forma eficiencia y seguridad en el manejo de estos materiales.

Estas plantillas también deben tomar en cuenta la carga explosivos estándar, ya que con base en esta calculado el material a utilizar en cada voladura, como máximo; así que puede que al solicitar esta cantidad el explosivo se consuma en su totalidad o tenga el mínimo de sobrante, reduciendo el riesgo de un transporte adicional de este explosivo.

A continuación, se muestran las plantillas estándar para cada una de las secciones que se encuentran en desarrollo de la mina subterránea.

2.5.5.1. Frente de sección 6m–5m

- 50 unidades de emulsión de dimensiones 1 ½ " por 16 "
- 51 unidades de emulsión de dimensiones 1" por 8"
- 75 metros de cordón prima line p 42
- 6 sacos de ANFO
- Detonadores LP con la siguiente numeración y cantidades:

Tabla XXII. Numeración de detonadores LP

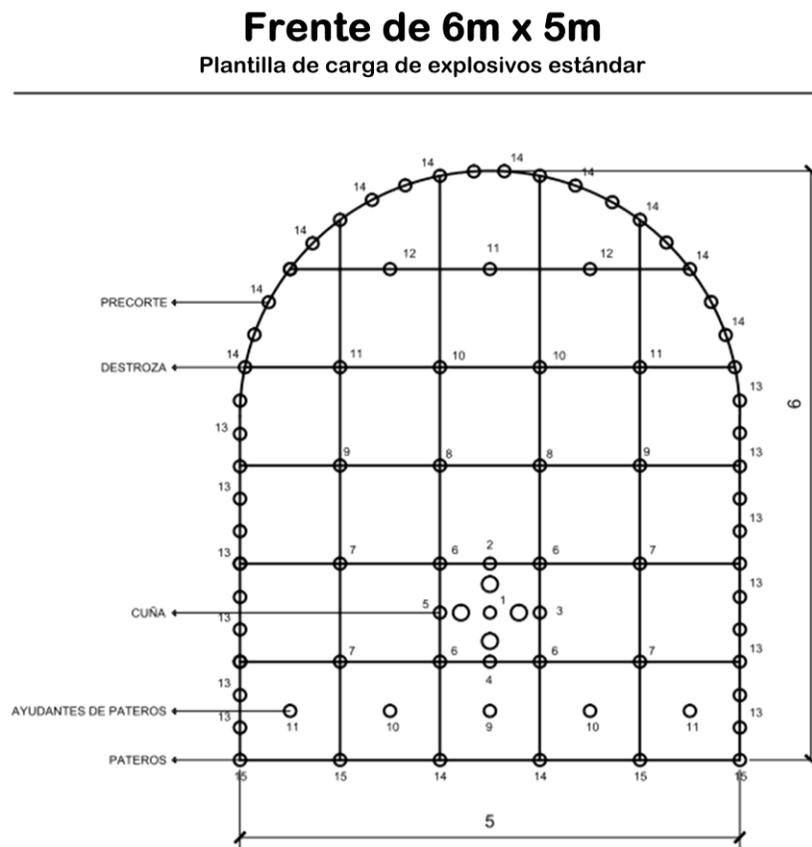
LP #1	LP #2	LP #3	LP #4	LP #5	LP #6	LP #7	LP #8	LP #9	LP #10	LP #11	LP #12	LP #13	LP #14	LP #15	TOTAL LP
1	1	1	1	1	4	4	2	3	4	5	2	12	12	4	57

Fuente: elaboración propia.

La emulsión de dimensiones 1 ½ " por 16 " sirve para cargar los barrenos pateros, llenando por completo el barreno hasta dejar un taco de 50 cm. La emulsión de dimensiones 1" por 8" sirve para el cebado del resto de barrenos, iniciándolos todos con los detonadores de largo periodo LP según la numeración en el diagrama. El Anfo, por su función de agente explosivo, sirve para cargar todos los barrenos llenándolos después del cebo hasta dejar un taco de 1 m. El cordón prima line p 42 sirve para cargar los barrenos del precorte y funciona como un auxiliar del Anfo en el arranque del terreno para ajustarse al diseño de voladura tras realizar la detonación; estos barrenos se cargan, uno sí y uno no para conseguir un mejor corte y disminuir el consumo de explosivo.

Cabe mencionar que todos los niveles de los detonadores LP van conectados hacia un cordón detonante, que los hace iniciar al mismo tiempo. Y que las detonaciones por norma se realizan con detonador eléctrico.

Figura 37. **Plantilla de carga para secciones de 6m x 5m**



Datos técnicos	
Barrenos escareados de 102 mm	
Barrenos normales de 45 o 51 mm	
Detonadores de largo periodo LP	

Fuente: elaboración propia.

2.5.5.2. Frente de sección 5m–5m

- 50 unidades de emulsión de dimensiones 1 ½ " por 16 "
- 43 unidades de emulsión de dimensiones 1" por 8"
- 60 metros de cordón prima line p 42
- 4 sacos de ANFO
- Detonadores LP con la siguiente numeración y cantidades:

Tabla XXIII. Numeración de detonadores LP

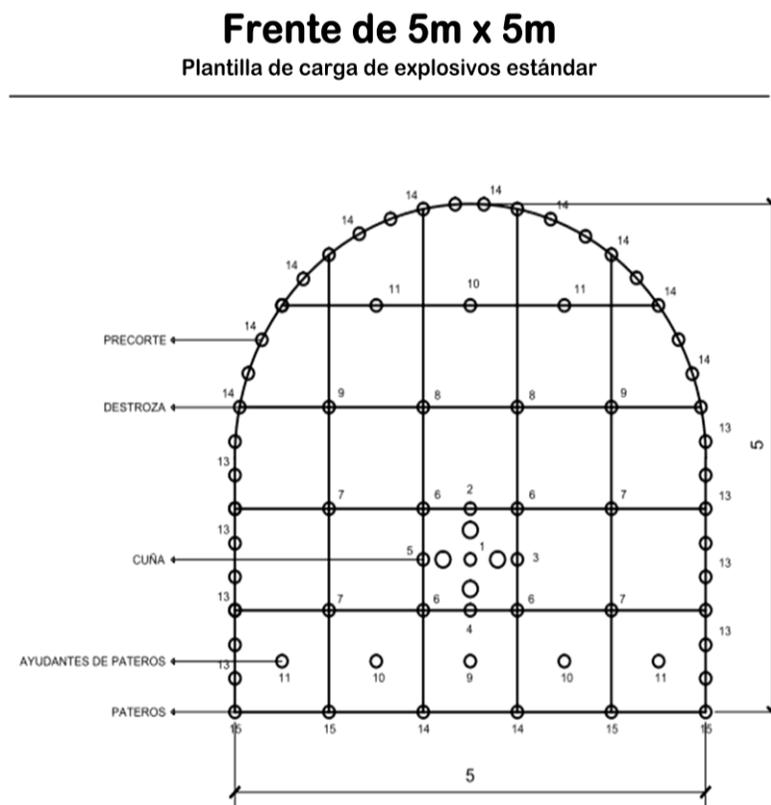
LP #1	LP #2	LP #3	LP #4	LP #5	LP #6	LP #7	LP #8	LP #9	LP #10	LP #11	LP #12	LP #13	LP #14	LP #15	TOTAL LP
1	1	1	1	1	4	4	2	3	3	4	0	8	12	4	49

Fuente: elaboración propia.

La emulsión de dimensiones 1 ½ " por 16 " sirve para cargar los barrenos pateros, llenando por completo el barreno hasta dejar un taco de 50 cm. La emulsión de dimensiones 1" por 8" sirve para el cebado del resto de barrenos, iniciándolos todos con los detonadores de largo periodo LP según la numeración en el diagrama. El Anfo, por su función de agente explosivo, sirve para cargar todos los barrenos llenándolos después del cebo hasta dejar un taco de 1 m. El cordón prima line p 42 sirve para cargar los barrenos del precorte y funciona como un auxiliar del Anfo en el arranque del terreno para ajustarse al diseño de voladura tras realizar la detonación; estos barrenos se cargan, uno sí y uno no para conseguir un mejor corte y disminuir el consumo de explosivo.

Cabe mencionar que todos los niveles de los detonadores LP van conectados hacia un cordón detonante, que los hace iniciar al mismo tiempo. Y que las detonaciones por norma se realizan con detonador eléctrico.

Figura 38. **Plantilla de carga para secciones de 5m x 5m**



Datos técnicos

Barrenos escareados de 102 mm
Barrenos normales de 45 o 51 mm

Detonadores de largo periodo LP

Fuente: elaboración propia.

2.5.5.3. Desquinche 5m–5m

- 50 unidades de emulsión de dimensiones 1 ½ " por 16 "
- 35 unidades de emulsión de dimensiones 1" por 8"
- 4 sacos de ANFO
- Detonadores LP con la siguiente numeración y cantidades:

Tabla XXIV. Numeración de detonadores LP

LP #1	LP #2	LP #3	LP #4	LP #5	LP #6	LP #7	LP #8	LP #9	LP #10	LP #11	LP #12	LP #13	LP #14	LP #15	TOTAL LP
5	5	5	5	5	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	41

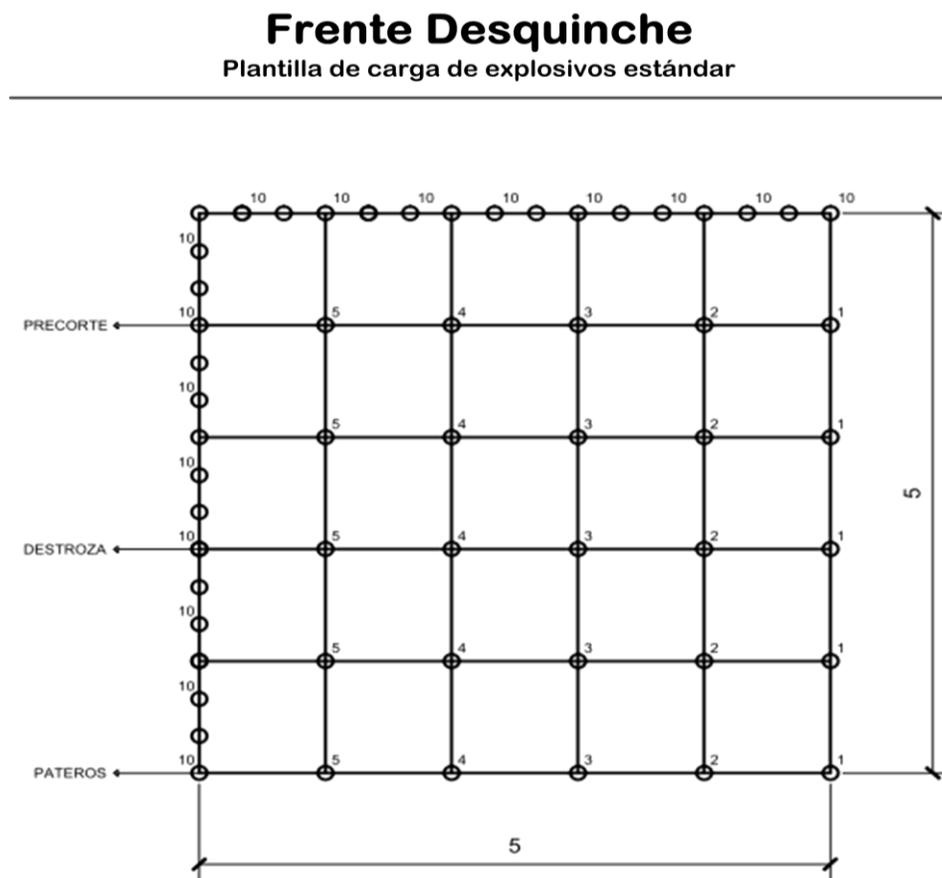
Fuente: elaboración propia.

El término desquinche se refiere a un disparo de inicio de acceso en el cual el jumbo no puede colocar los brazos hidráulicos como debería (perpendicular al frente) y se tiene que perforar en diagonal, por lo que la numeración de detonadores se hace diferente.

La emulsión de dimensiones 1 ½ " por 16 " sirve para cargar los barrenos pateros, llenando por completo el barreno hasta dejar un taco de 50 cm. La emulsión de dimensiones 1" por 8" sirve para el cebado del resto de barrenos, iniciándolos todos con los detonadores de largo periodo LP según la numeración en el diagrama. El Anfo, por su función de agente explosivo, sirve para cargar todos los barrenos llenándolos después del cebo hasta dejar un taco de 1 m, en el pre corte los barrenos se cargan, uno sí y uno no para conseguir un mejor corte y disminuir el consumo de explosivo y en este caso no lleva cordón primaline, ya que no se requiere en la entrada un corte uniforme.

Cabe mencionar que todos los niveles de los detonadores LP van conectados hacia un cordón detonante, que los hace iniciar al mismo tiempo. Y que las detonaciones por norma se realizan con detonador eléctrico.

Figura 39. **Plantilla de carga para desquinche de 5m x 5m**



<p>Datos técnicos</p> <p>Barrenos normales de 45 o 51 mm</p> <p>Detonadores de largo periodo LP</p>
--

Fuente: elaboración propia

2.5.6. Clases de sostenimiento

Las clases de sostenimiento en mina subterránea, ya están definidas por geología de mina y se asignan a través de la valoración de RMR (*Rock Mass Rating*); oscila entre 0 y 100 y es mayor mientras mejor es la roca. Se tiene 4 clases de sostenimiento según el RMR asignado.

Cada frente abierto y recién disparado espera una asignación para realizar el sostenimiento, que geología define tras la evaluación en campo. El trabajo realizado con el personal operativo asignado a los boltec es una concientización y revisión de los tipos de sostenimientos existentes y de revisar a qué clase de sostenimiento pertenece cada frente que se va a trabajar.

Esto contribuye a optimizar los recursos asignados y que el personal operativo tenga un mejor panorama de trabajo.

2.5.7. Técnicas de sostenimiento

- Mallas de protección

Las mallas de protección son mallas que se instalan en el tope de cada frente de trabajo con el fin de mantener seguro el tope y no se produzca algún desprendimiento que dañe al personal. Se instalan dos o tres mallas según el ancho de la excavación, dichas mallas funcionan solamente por seguridad mientras se vuelve a disparar y después de eso se pierden entre el material de rezaga.

Las mallas deben ir sujetadas con 8 o hasta 12 pernos swellex, aunque en este proceso lo importante es el ángulo de colocación de los pernos, la

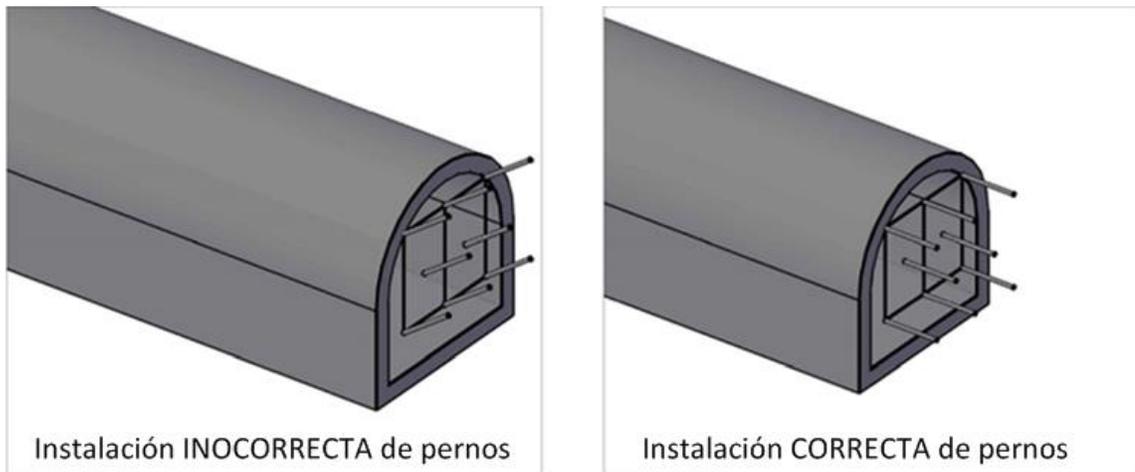
forma correcta de colocarlos es en paralelo a la excavación con el fin de que cuando se realice la voladura los pernos se desprendan y las mallas caigan en la rezaga.

Actualmente, cuando los pernos no se colocan debidamente, los pernos quedan pegados al terreno junto con las mallas; entonces el boltec tiene que trabajar en remover estas mallas con el brazo hidráulico, función para la cual no está diseñado.

Los beneficios de esta práctica, son los siguientes:

- Disminuye ciertas averías en el equipo
- Elimina el tiempo gastado en remover las mallas

Figura 40. **Instalación correcta de pernos para mallas de protección**



Fuente: elaboración propia.

- Saneo del terreno

El saneo del terreno se refiere a botar de las paredes y techo de una voladura toda roca que esté suelta y que tenga riesgo de caer y hacer algún daño. La actividad consiste en golpear o percutir las rocas sueltas a fin de que se desprendan, caigan y con conseguir amacizar el terreno que posteriormente se va a sostener con pernos y mallas.

El saneo se debe realizar con maquinaria diseñada para tal propósito para no exponer al personal a caídas de rocas, y en estos momentos se realiza con el brazo hidráulico del boltec; con esto se consigue tener alejado al personal del peligro, pero al igual que para retirar mallas pegadas con pernos, el realizar el saneo provoca daños en el brazo hidráulico debido a los golpes y fuerzas no ordinarias que sufre el brazo en dicho proceso.

Debido a los anterior, se propone a gerencia la adquisición de una maquina especialmente diseñada para el saneo pues existen diferentes tipos en el mercado que se acoplen a dicha necesidad.

Para continuar con la misma marca y línea de productos, se propone el escalatec o una máquina que cumpla la misma función como una retroexcavadora con martillo instalado, aunque esta opción por tener una inversión considerablemente alta, solo se queda la propuesta de compra. El estudio de tiempos de sostenimiento nos indica un tiempo promedio de saneo de 00:36:12 lo que representa el 13,83 % del tiempo total del proceso. Luego si ya no se realiza dicha operación con el boltec, las averías disminuyen lo cual beneficiará el proceso en gran manera.

2.6. Evaluación de las mejoras

Este proyecto se enfoca en la mejora de procesos de perforación, carga de explosivos y sostenimiento; procesos en los cuales se implementaron mejoras orientadas a mejorar los recursos asignados, tales como materiales, maquinaria, tiempo de los procesos, conocimientos del personal operativo, etc.

- **Perforación**

Se inició con el diagnóstico que nos permitiera identificar deficiencia en la forma en la que se realiza la perforación y consumos excesivos y una mala administración de los aceros de perforación, entonces se realizaron las siguientes actividades:

Se implementó las plantillas de perforación para cada diseño de sección del túnel y se capacitó al personal para que se trabaje mediante un estándar de perforación; de esa manera se logró que los resultados de la perforación sean más eficientes y constantes.

Se implementó un sistema que administra el consumo de un material vital y de alto consumo en minería, los aceros de perforación y no solo de la perforación sino también de los aceros que utilizan todas las máquinas que realizan perforación en la mina subterránea tal es el caso del proceso de sostenimiento y las máquinas de producción. Esto consigue realizar un consumo responsable de los aceros e identificar los puntos críticos para mejorar.

Adicionalmente, se implementó el reafilado de brocas, con este proceso se consigue una segunda o hasta una tercera vida útil de las brocas lo cual

aumenta el rendimiento de este tipo de material y logra disminuir los costos de operación.

En la siguiente tabla se muestra el indicador de voladuras y los datos recopilados durante la realización del proyecto para visualizar un antes y un después, de la implementación de las mejoras.

Tabla XXV. Evaluación con el indicador de eficiencia de voladuras

Perforación	Fecha de mediciones	Avance real (m)	Longitud de perforación (m)	Eficiencia de voladuras (%)	Promedio eficiencia de voladuras (%)
Antes de las mejoras	10 de septiembre 2014	2.4	3	80.0	83.9
	29 de septiembre 2014	3.4	4	85.0	
	03 de octubre 2014	2.7	3	90.0	
	25 de octubre 2014	3.5	3.5	100.0	
	08 de noviembre 2014	3.4	4	85.0	
	20 de noviembre 2014	2.1	3	70.0	
	05 de diciembre 2014	2.5	3	83.3	
	21 de diciembre 2014	3.1	4	77.5	
Después de las mejoras	3 de marzo 2015	2.7	3	90.0	95.4
	3 de marzo de 2015	3.8	4	95.0	
	5 de marzo de 2015	2.9	3	96.7	
	5 de marzo de 2015	3.6	3.5	102.9	
	7 de marzo de 2015	3.5	4	87.5	
	7 de marzo de 2015	3	3	100.0	
	8 de marzo de 2015	3.1	3	103.3	
	9 de marzo de 2015	3.5	4	87.5	

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla XXI la eficiencia en el proceso de perforación mejoro de 83,9 % a un 95,4 %, debido a los cambios ejecutados.

- Carga de explosivos

Se inició con el diagnóstico que permitiría identificar deficiencias en la forma en la que se realiza la carga de explosivos y una mala administración y un consumo excesivo del material explosivo, entonces se realizaron las siguientes actividades:

Se implementaron las plantillas de carga de explosivos para cada diseño de sección de túnel, orientadas a realizar voladuras eficientes y a disminuir los costos de consumos excesivos, y se capacitó al personal operativo. De esta manera se consigue que los resultados de las voladuras sean eficientes y constantes, adicionalmente se estandariza el consumo de explosivos utilizados para cada sección de túnel, con esto se logra disminuir el consumo de material explosivo y tener un mejor control.

Se implementó el sistema de control de explosivos, que administra el consumo de los mismos, un material de alto consumo en minería. Esto consigue realizar un consumo, responsable de los explosivos tanto en manipulación, cantidad de material solicitado, material consumido y material para devolución. El tener datos de cada voladura permite administrar los recursos de una mejor forma ya que se tiene información valiosa para su posterior interpretación.

En la siguiente tabla se muestra el indicador de consumo específico de explosivos y los datos recopilados durante la realización del proyecto para visualizar un antes y un después, de la implementación de las mejoras.

Tabla XXVI. **Evaluación con el indicador de consumo específico de explosivos**

Explosivos	Fecha de mediciones	Peso de explosivo utilizado (Kg)	Avance real (m)	Área de excavación para sección 5 x 5 m (m ²)	Volumen de material desplazado (m ³)	Consumo específico (Kg/m ³)	Promedio consumo específico (Kg/m ³)
Antes de las mejoras	10 de sept. 2014	170	3	22.31	66.93	2.5	2.2
	29 de sept. 2014	165	4	22.31	89.24	1.8	
	03 de octubre 2014	145	3	22.31	66.93	2.2	
	25 de octubre 2014	165	3.5	22.31	78.085	2.1	
	08 de nov. 2014	180	4	22.31	89.24	2.0	
	20 de nov. 2014	160	3	22.31	66.93	2.4	
	05 de dic. 2014	175	3	22.31	66.93	2.6	
	21 de dic. 2014	175	4	22.31	89.24	2.0	
Después de las mejoras	3 de marzo 2015	130	3	22.31	66.93	1.9	1.8
	3 de marzo de 2015	140	4	22.31	89.24	1.6	
	5 de marzo de 2015	140	3	22.31	66.93	2.1	
	5 de marzo de 2015	130	3.5	22.31	78.085	1.7	
	7 de marzo de 2015	140	4	22.31	89.24	1.6	
	7 de marzo de 2015	130	3	22.31	66.93	1.9	
	8 de marzo de 2015	135	3	22.31	66.93	2.0	
	9 de marzo de 2015	147	4	22.31	89.24	1.6	

Fuente: elaboración propia.

Como se pudo observar en la tabla XXII, la cantidad de explosivo se pudo reducir de 2,2 Kg/m³ a 1,8 Kg/m³, además, de poder tener un control sobre la cantidad de explosivo despachado y devuelto.

- **Sostenimiento**

Se inició con un diagnóstico que permitía identificar deficiencia en la forma en la que se realizan ciertas prácticas del sostenimiento y también sobre consumos en los aceros de perforación.

Debido a lo anterior, se implementaron ciertas técnicas que ayudan a disminuir el tiempo de sostenimiento y a no dañar el equipo con malas prácticas, como evitar el saneo del terreno con el boltec e instalar las mallas de protección con los pernos debidamente instalados. Se implementó un sistema que administra el consumo de un material vital y de alto consumo en minería, los aceros de perforación para los aceros utilizados en el sostenimiento.

En las siguientes dos tablas se muestran el indicador de consumo de mallas y consumo de pernos y los datos recopilados durante la realización del proyecto para visualizar un antes y un después, de la implementación de las mejoras en el sostenimiento.

Tabla XXVII. Evaluación con el indicador de consumo de mallas de sostenimiento

	fecha de mediciones	cantidad de mallas instaladas	área de una malla (m2)	área total de mallas (m2)	avance real (m)	perímetro de excavación a sostener para sección de 5 x 5 m (m)	área a sostener (m2)	consumo de mallas (%)	Promedio consumo de mallas (%)
Antes de las mejoras	19/10/2014	11	5,4	59,4	3	10,64	31,92	186,1	159,5
	4/11/2014	12	5,4	64,8	4	10,64	42,56	152,3	
	8/11/2014	9	5,4	48,6	3	10,64	31,92	152,3	
	1/12/2014	11	5,4	59,4	3,5	10,64	37,24	159,5	
	3/12/2014	11	5,4	59,4	4	10,64	42,56	139,6	
	7/12/2014	10	5,4	54	3	10,64	31,92	169,2	
	15/12/2014	9	5,4	48,6	3	10,64	31,92	152,3	
	20/12/2014	13	5,4	70,2	4	10,64	42,56	164,9	
después de las mejoras	3/3/ 2015	8	5,4	43,2	3	10,64	31,92	135,3	122,0
	5/3/ 2015	9	5,4	48,6	4	10,64	42,56	114,2	
	5/3/ 2015	7	5,4	37,8	3	10,64	31,92	118,4	
	7/3/ 2015	9	5,4	48,6	3,5	10,64	37,24	130,5	
	7/3/ 2015	10	5,4	54	4	10,64	42,56	126,9	
	8/3/ 2015	7	5,4	37,8	3	10,64	31,92	118,4	
	9/3/ 2015	7	5,4	37,8	3	10,64	31,92	118,4	
	14/3/2015	9	5,4	48,6	4	10,64	42,56	114,2	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Evaluación con el indicador de consumo de pernos de sostenimiento**

	fecha de mediciones	cantidad de pernos instalados	avance real (m)	perímetro de excavación a sostener para sección de 5 x 5 m (m)	área a sostener (m ²)	consumo de pernos (pernos/m ²)	Promedio consumo de pernos (pernos/m ²)
Antes de las mejoras	15/10/2014	52	3	10,64	31,92	1,6	1,5
	19/10/2014	60	4	10,64	42,56	1,4	
	4/11/2014	47	3	10,64	31,92	1,5	
	8/11/2014	40	3,5	10,64	37,24	1,1	
	1/12/2014	68	4	10,64	42,56	1,6	
	3/12/2014	51	3	10,64	31,92	1,6	
	7/12/2014	48	3	10,64	31,92	1,5	
	15/12/2014	68	4	10,64	42,56	1,6	
después de las mejoras	3/3/2015	36	3	10,64	31,92	1,1	1,1
	3/3/ 2015	46	4	10,64	42,56	1,1	
	5/3/ 2015	34	3	10,64	31,92	1,1	
	5/3/ 2015	36	3,5	10,64	37,24	1,0	
	7/3/ 2015	45	4	10,64	42,56	1,1	
	7/3/ 2015	35	3	10,64	31,92	1,1	
	8/3/ 2015	38	3	10,64	31,92	1,2	
	9/3/ 2015	38	4	10,64	42,56	0,9	

Fuente: elaboración propia.

La capacitación y concientización del personal de realizar un sostenimiento de calidad y a la vez ser eficientes con el uso de materiales se ve reflejado en los resultados arrojados en la tabla XXIII, se ve que el indicador de consumo de mallas indica una mejora de un 159,5 % a 122 %; esto quiere decir que el traslape de mallas se está haciendo correctamente ya que según nos muestra el indicador en la página 81, el rango de aceptación de traslape de mallas está dado en un porcentaje de entre 110 % a 130 %.

El estándar de desarrollo de la mina definido por geotécnica es de 1 perno por metro cuadrado y como se puede observar en la tabla XXIV el indicador de consumo de pernos indica una mejora que va desde 1,5 a 1,1 pernos instalados por metro cuadrado; esto quiere decir que se está realizando el sostenimiento correcto y no se están colocando pernos innecesarios, ya que el indicador de consumo de pernos en la página 80, tiene un rango de aceptación que va desde 0,8 a 1,2 pernos por metro cuadrado instalados.

2.7. Costos de la propuesta

En la tabla XXIV se identifican los costos asociados a la realización del proyecto de mejora de los procesos en MSR.

Tabla XXIX. **Costos del proyecto**

Recursos	Costo fijos			
	Descripción	Cantidad	Costo/unitario	Costo total
Humanos	Capacitador : Luis Alfredo García Alarcón	1	Q -	Q -
	Asesor interno: ingeniero de operaciones	1	Q -	Q -
	Personal capacitado	3	Q 5,000.00	Q 15,000.00
Subtotal				Q 15,000.00
Servicios	Salón y material audiovisual	1	Q -	Q -
	Internet/luz/telefonía	1	Q 100.00	Q 100.00
Subtotal				Q 100.00
Costos variables				
Materiales de apoyo	Lápices	3	Q 2.50	Q 7.50
	Lapiceros	3	Q 4.00	Q 12.00
	Hojas (resmas de 500 hojas)	2	Q 40.00	Q 80.00
	Formatos del sistema de control de aceros y explosivos realizados en imprenta	1	Q 2,000.00	Q 2,000.00
	CD con material de apoyo	3	Q 30.00	Q 90.00
Subtotal				Q 2,189.50
Total				Q 17,289.50

Fuente: elaboración propia.

3. FASE DE INVESTIGACIÓN PLAN DE AHORRO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA VENTILACION DE MINA SUBTERRÁNEA

3.1. Diagnóstico de ventilación de mina subterránea

- Descripción de situación actual

La mina subterránea cuenta con un sistema de ventilación que consta de ventilación natural y ventilación artificial. La ventilación natural funciona a través de un extractor de aire instalado en la superficie y el aire entra por succión desde los portales y sale por la chimenea principal hacia la superficie. La ventilación artificial se encarga de llevar el aire natural de los niveles hacia los frentes de trabajo activos y funciona a través de ventiladores instalados dentro de los niveles de mina subterránea; en los cuales el aire viaja por mangas desde el ventilador hacia el tope de los frentes activos.

Un ventilador, debido al caudal de aire producido, puede cubrir un máximo de 4 frentes activos por lo que se necesita de varios ventiladores instalados por nivel, debido al diseño y la excavación de la mina subterránea, la cantidad y orientación de los ventiladores es muy cambiante, aunque en promedio se cuenta con 4 ventiladores por nivel; la mina en este momento cuenta con 8 niveles desarrollados por lo que la cantidad de ventiladores se puede deducir mediante la multiplicación de estos dos valores.

Según lo anterior, se cuenta con 32 ventiladores instalados en la mina y que funcionan en todo momento para cubrir la necesidad de ventilación artificial.

Entonces existe una oportunidad de ahorro de energía eléctrica si se apaga uno o más ventiladores en los momentos que no necesita estar encendido.

Para la propuesta del plan de ahorro de energía eléctrica en la ventilación de la mina subterránea se pretende que cuando no sea necesario los ventiladores de las zonas en que no se estén trabajando estos permanezcan apagados ya que actualmente al encender los ventiladores estos se deben encender en su totalidad cuando solo se podrían encender los ventiladores de las zonas donde se encuentre el personal realizando los procesos.

Antes de poder acceder hay que tomar en consideración lo siguiente:

- Ventilación natural

La energía más barata y abundante en la naturaleza es el aire natural, que se utiliza en la ventilación para minas subterráneas.

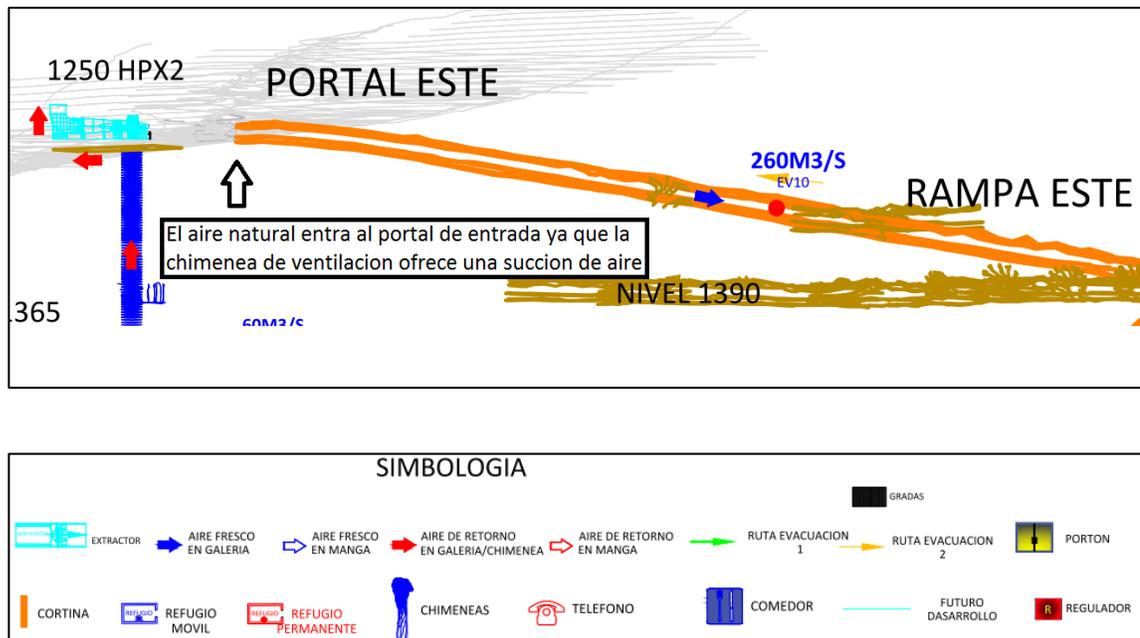
Este aire se introduce por la bocamina principal de ingreso, recorriendo el flujo del aire por la totalidad del circuito de ventilación, hasta la salida del aire por la otra bocamina.

Para que funcione la ventilación natural tiene que existir una diferencia de alturas entre las bocaminas de entrada y salida. En realidad, más importante que la profundidad de la mina es el intercambio termodinámico que se produce entre la superficie y el interior. La energía térmica agregada al sistema se transforma a energía de presión, susceptible de producir un flujo de aire (el aire caliente desplaza al aire frío produciendo circulación).

La ventilación natural es muy cambiante, depende de la época del año, incluso, en algunos casos, de la noche y el día.

En el caso de esta mina, ya que no hay una diferencia de altura considerable, se hace necesaria la utilización de un extractor propicia.

Figura 41. Flujo de aire para ventilación natural



Fuente: elaboración propia.

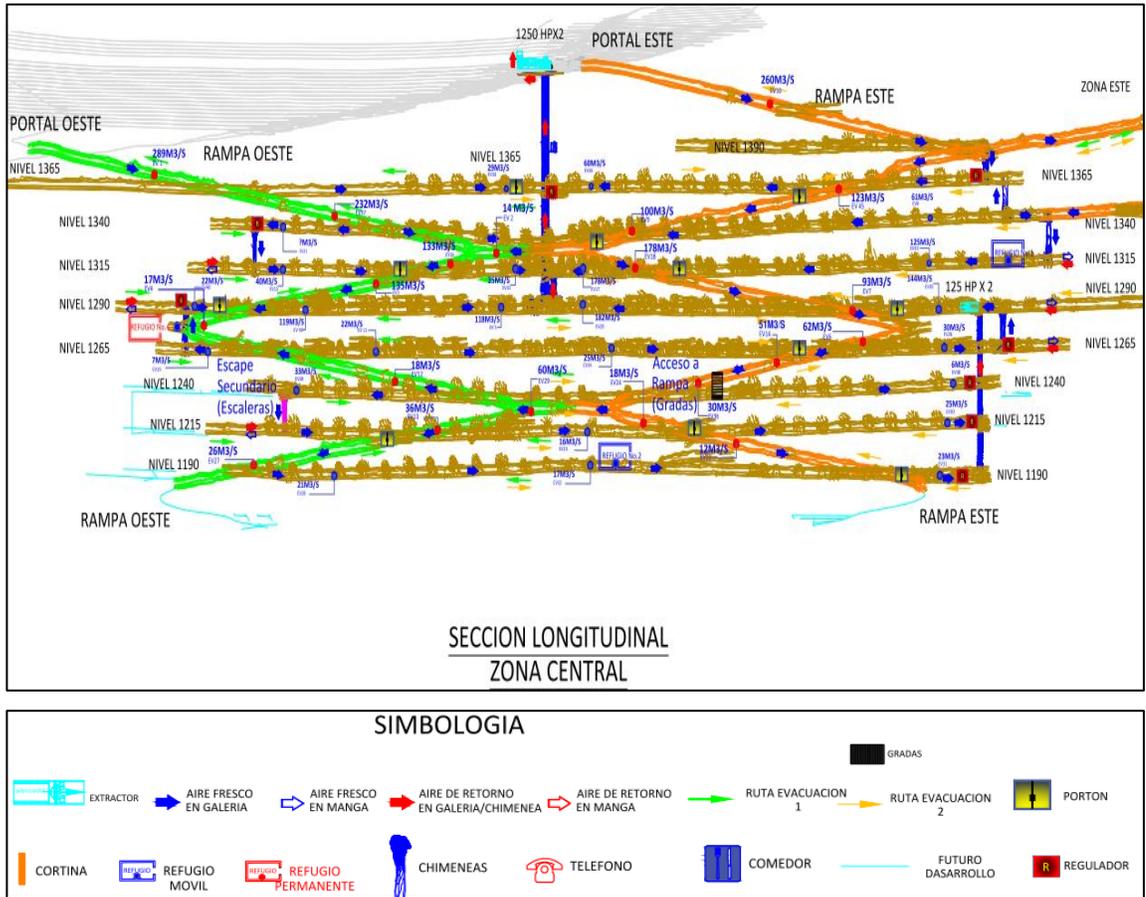
- Ventilación artificial

Como ventilación artificial o secundaria, se define a aquellos sistemas que, haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que les proporciona el sistema de ventilación general.

Los sistemas de ventilación auxiliar que pueden emplearse en el desarrollo de galerías horizontales, utilizando ductos y ventiladores auxiliares son:

- Sistema impelente: el aire es impulsado dentro del ducto y sale por la galería en desarrollo ya viciado. Para galerías horizontales de poca longitud y sección (menores a 400 metros y de 3,0 x 3,0 metros de sección), lo conveniente es usar un sistema impelente de mediana o baja capacidad, dependiendo del equipo a utilizar en el desarrollo y de la localización de la alimentación y evacuación de aire del circuito general de ventilación de la zona.
- Sistema aspirante: el aire fresco ingresa a la frente por la galería y el contaminado es extraído por la ductería. Para ventilar desarrollos de túneles desde la superficie, es el sistema aspirante el preferido para su ventilación, aun cuando se requieren elementos auxiliares para remover el aire de la zona muerta, comprendida entre la frente y el extremo de la ductería de aspiración.
- Actualmente en MSR, el sistema utilizado es el sistema impelente en el cual como ya se mencionó el aire es impulsado dentro del ducto y sale por la galería en desarrollo ya viciado. Y se cuenta con 32 ventiladores que todos funcionan al mismo tiempo lo que se pretende es que solo algunos funcionen dependiendo del área a trabajar.

Figura 42. Levantamiento de ventilación MSR



Fuente: Planos de ventilación Mina San Rafael.

Existen normas que rigen las construcciones de mina actuales en nuestro país

El Art. N° 138 del D.S. N° 72., exige una corriente de aire fresco de no menos de tres metros cúbicos por minuto (3 m³/min.) por persona, en cualquier sitio del interior de la mina. Los equipos que componen son menores de 50 personas por turno, esto equivale a (150 m³/min por la totalidad de las personas).

Por lo tanto, el caudal mínimo requerido por área es de (250 m³/min). Como se puede observar en la figura 34. Datos que fueron proporcionados por los equipos de medición de MSR. El ventilador de menor caudal que se cuenta es de 171,82 m³/min con codificación en mapa de (E35) y de 247,89 m³/min con codificación en mapa de (E32). Por lo tanto, son las únicas dos áreas a las cuales no están permitido que ingresen todas las maquinaria ni todo el personal sin antes verificar que se cumplan las condiciones requeridas según norma.

3.2. Evaluación de consumo de energía eléctrica

La evaluación de consumo de energía eléctrica de la ventilación artificial se analiza en una proyección diaria para una mejor visualización de los datos obtenidos; en la evaluación, se describe la cantidad de ventiladores dentro de mina subterránea, la potencia de trabajo de estos expresada en HP y KW, el tiempo expresado en horas, la energía eléctrica consumida expresada en KWh y, por último, el costo en quetzales de esta según las tarifas vigentes.

La tarifa vigente por EEGSA para noviembre de 2016 es de 1,1421 quetzales por cada KWh consumido.

Tabla XXX. **Evaluación de consumo de energía eléctrica de ventiladores**

Descripción	Cantidad	Dimensionales	Observaciones
Potencia de un ventilador por el fabricante	60,00	HP	
potencia de un ventilador por el fabricante	44,74	KW	Conversión: 1 HP = 0,7457 KW
Tiempo del ventilador activo al día	24,00	h	Los ventiladores están activos durante todo el día
Energía eléctrica consumida por un ventilador al día	1 073,81	KWh / día	<i>potencia × horas efectivas al día</i>
Costo de la energía eléctrica por ventilador en el día	1 226,40	Q. / día	<i>costo de energía × energía eléctrica consumida</i>
cantidad de ventiladores	32,00	Unidades	Cantidad total de ventiladores dentro de mina subterránea
Energía eléctrica consumida por todos los ventiladores al día	34 361,92	KWh / día	<i>energía eléctrica × numero de ventiladores</i>
Costo de la energía eléctrica total en el día	39 244,75	Q. / día	<i>costo de energía × energía eléctrica consumida total</i>

Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior se puede deducir, un consumo de energía eléctrica diario por ventilador de 1 073,81 Kwh, lo cual tiene un costo de Q. 1 226,40 al día; y un consumo de energía eléctrica diario por todos los ventiladores (32 unidades) de 34 361,92 Kwh lo cual tiene un costo de Q. 39 244,75 al día.

3.3. Plan de ahorro propuesto

El plan de ahorro de energía eléctrica propuesto para la ventilación artificial de la mina subterránea consiste en eliminar horas de trabajo de los ventiladores que no dan beneficio en las horas en las que se realizan las voladuras a final de cada uno de los dos turnos del día y eliminar horas de trabajo de ventiladores realizando un manejo más eficiente de la ventilación artificial durante todo el transcurso del turno diurno y nocturno. La propuesta incluye la contratación de una persona por turno encargada del manejo de todas las actividades referentes al control y manejo eficiente de la ventilación en mina subterránea.

La mina no para operaciones, esto quiere decir que se cuenta con dos turnos: un turno diurno y un turno nocturno, a las 7:00 y 19:00 horas respectivamente. El turno diurno por ejemplo termina operaciones a las 17:30 horas; desde este momento todo el personal egresa de la mina y desde esta hora se debe parar todos los ventiladores instalados hasta las 18:30 horas que finalizan los disparos y se tiene que activar la ventilación artificial para ventilar las áreas de trabajo.

El tiempo entonces en el que los ventiladores en su totalidad deben de permanecer apagados es de una hora por turno, lo que quiere decir que entre el turno diurno y el turno nocturno se tiene 2 horas al día disponibles para el ahorro de energía eléctrica.

Luego, durante el turno, si se dispone de una persona asignada para el control y monitoreo de la ventilación en mina subterránea, se consiguen dos aspectos importantes: primero, el ahorro de energía eléctrica proveniente de parar los ventiladores en los lugar que no se trabaja; segundo, es el de

aprovechar de mejor manera la ventilación realizando las acciones pertinentes orientadas a optimizar este recurso; por ejemplo ahorcar mangas que no se estén utilizando, iniciar ventiladores donde se necesite, revisión y monitoreo de portones de ventilación, revisión de caudales de ventilación, monitoreo de gases, etc.

Según lo anterior y los trabajos que se realizan actualmente en desarrollo y producción de la mina, la proyección de ahorro en el consumo de energía eléctrica para un día sería de 10 % como mínimo; si se tienen 32 ventiladores en total el ahorro equivale a mantener apagados 3.2 ventiladores durante el día.

Para todas las actividades antes mencionadas, el encargado directo es el auxiliar de ventilación (persona contratada para dicho fin). Para este puesto se deben contratar tres personas ya que en la mina subterránea se maneja el plan de seis días de trabajo por tres días de descanso; por lo tanto, existen tres grupos de trabajo contratados para operación continua.

3.4. Costo de la propuesta

Para la propuesta de ahorro de energía eléctrica para la ventilación de mina subterránea se realiza la proyección y análisis de un beneficio/costo.

El beneficio de la propuesta es la suma de la energía eléctrica ahorrada por voladuras y la energía eléctrica ahorrada durante el turno y el costo de la propuesta es el pago en concepto de sueldos para las tres personas a contratar con el perfil de auxiliar de ventilación. Según lo anterior, se generan tres tablas con el análisis monetario de la propuesta.

Tabla XXXI. **Beneficio 1: ahorro de energía eléctrica en voladuras**

Descripción	Cantidad	Dimensionales	Observaciones
potencia de un ventilador por el fabricante	60	HP	
potencia de un ventilador por el fabricante	44,74	KW	Conversión: 1 HP = 0,7457 KW
Tiempo de paro de ventiladores	2	h	Una hora por turno
Energía eléctrica ahorrada por ventilador	89,48	KWh / día	<i>Potencia ahorrada × horas de paro al día</i>
Cantidad de ventiladores	32	Unidades	
Energía eléctrica total ahorrada	2 863,36	KWh / día	<i>energía eléctrica ahorrada × cantidad de ventiladores</i>
Costo de la energía eléctrica total ahorrada en el día	3 270,24	Q. / día	<i>costo de energía × energía eléctrica ahorrada por día</i>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Beneficio 2: ahorro de energía eléctrica en el turno**

Descripción	Cantidad	Dimensionales	Observaciones
potencia de un ventilador por el fabricante	60	HP	
potencia de un ventilador por el fabricante	44,74	KW	Conversión: 1 HP = 0,7457 KW
Tiempo del ventilador activo al día	22	h	En este caso no se toma las 2 horas de paro por voladura
Energía eléctrica consumida por ventilador al día	984,28	KWh / día	<i>Potencia del ventilador × horas activo al día</i>
Cantidad de ventiladores	32	Unidades	
Energía eléctrica total consumida al día	31 496,96	KWh / día	<i>energía eléctrica por ventilador × cantidad de ventiladores</i>
10% de Energía eléctrica ahorrada durante el turno	3 149,69	KWh / día	<i>energía eléctrica total × 10 %</i>
Costo de la energía eléctrica ahorrada durante el turno	3 597,26	Q. / día	<i>costo de energía × energía eléctrica ahorrada por día</i>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Costo: salario del personal**

Descripción	Cantidad	Dimensionales	Observaciones
Salario promedio al mes de un empleado	7 000,00	Q.	Salario aproximado calculado para este perfil de puesto
Número de puestos a contratar	3	Personas	Una persona para cada grupo de trabajo
Costo al mes de la propuesta	21 000,00	Q. / mes	<i>Salario × cantidad de puestos</i>
Costo al día de la propuesta	666,67	Q. / día	<i>costo al mes ÷ días del mes (30)</i>

Fuente: elaboración propia.

Según los resultados de las tablas y una proyección de análisis de un día, se obtiene lo siguiente:

Costo de la propuesta al día: Q.666,67

Beneficios de la propuesta al día: beneficio 1 + beneficio 2

Beneficios de la propuesta al día: Q.3 270,24 + Q. 3 597,26

Beneficios de la propuesta al día: Q.6 867,50

Beneficio / costo: 6 867,50 / 666,67

Beneficio / costo: 10,30

Si el beneficio – costo es mayor a 1, el proyecto es rentable y el resultado de este proyecto arroja 10,30; lo cual pone en evidencia que es un proyecto totalmente ejecutable; traducido económicamente en que por cada quetzal invertido por la empresa para este proyecto estaría ahorrando 10,30 quetzales.

El proyecto ofrece un ahorro de Q. 6 200,83 al día al ejecutarlo e implementarlo en su totalidad.

4. PLAN DE CAPACITACIÓN

4.1. Diagnóstico de necesidades de capacitación

Para realizar el diagnóstico de las necesidades de capacitación, se realizaron entrevistas con los supervisores y con el personal operativo de desarrollo de mina subterránea, con el objetivo de identificar las áreas en las cuales se requiere fortalecer y enriquecer el conocimiento.

Por medio del análisis FODA, se diagnosticó de la situación actual se detectaron la necesidad de capacitación para tener claro los procesos.

A partir de las entrevistas, se deduce que el personal operativo de carga de explosivos tiene experiencia en el trabajo que realiza, es decir, en la práctica; sin embargo, el conocimiento teórico de los materiales que manipulan, los procesos que realizan y los procedimientos de seguridad industrial para dichas actividades; se encuentra deficiente. Debido a esto, el tema de capacitación es el manejo seguro y eficiente de explosivos.

Adicionalmente, existe la necesidad de capacitación con base en la implementación de la mejora de procesos; para la cual se incluye el sistema de control aceros y el sistema de control de explosivos.

- Análisis FODA

El análisis FODA realizado está proyectado para mediano y corto plazo debido a la naturaleza del proyecto de realizar mejoras papables al implementar los cambios.

Tabla XXXIV. **Análisis FODA de necesidades de capacitación**

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • F1 Se tienen valores y principios claramente establecidos. • F2 El Departamento de RRHH cuenta con recursos necesarios para poder llevarla a cabo • F3 Capacidad y disponibilidad de recursos para implementar cambios. • F4 Se cuenta con personal que puede dar las capacitaciones necesarias • F6 la empresa es joven y tiene áreas potenciales de mejora. 	<ul style="list-style-type: none"> • D1 No se cuenta con un plan de capacitación • D2 La capacitación es deficiente para el personal operativo. • D3 Falta de conocimiento en nuevos procedimientos.
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • O1 Desarrollo de personal de la empresa • O2 Nuevos conocimientos por medio de los nuevos procedimientos • O3 Mejor utilización de los recursos de la empresa 	<ul style="list-style-type: none"> • A1 La recesión económica, lo que afecta a la empresa a la inversión. • A2 Cancelación de la licencia de explotación de las tierras. • A3 Opositores al proyecto minero en los alrededores de la región.

Fuente: elaboración propia.

Se analizaron los factores internos y externos de la empresa que tenían relucir y con estas, se procedió a establecer las estrategias que ayudaron a poder plantear posibles proyectos viables de realizar en la empresa.

- Estrategias fortaleza-oportunidades

Estrategia 1: desarrollar plan de capacitación para el personal de desarrollo de mina (F1, F2, F3, F4, F5, O1, O2, O3).

- Estrategias debilidades-oportunidades

Estrategia 2: implementar un plan de capacitación continuo para conocimiento claro de procesos y uso del equipo de mina en los procesos (D1, D2, D3, A1, A2, A3).

- Estrategia debilidades-amenazas

Estrategia 3: priorización de capacitaciones y realización del plan anual de las mismas (D1, D2, D3, A1, A2, A3).

4.2. Plan de capacitación

La capacitación hará que el trabajador sea más competente y hábil, al utilizar y desarrollar sus aptitudes. De esta manera, la organización se volverá más fuerte, productiva y rentable.

La capacitación en la empresa debe brindarse en la medida cesaría haciendo énfasis en los aspectos específicos y necesarios para que el empleado pueda desempeñarse eficazmente en su puesto.

La selección de los temas para capacitación es una consecuencia lógica del conocimiento del análisis de la situación de la mina a través del análisis de la situación actual de la mina a través del análisis FODA previamente realizado.

Tabla XXXV. **Tabla de priorización de temas detectados**

No	Causas (acciones de mejora)	Dificultad	Plazo (semanas)	Impacto	Total priorización
1	Manejo seguro y eficiente de explosivos	4	4	4	12
2	Inducción al sistema de control de perforación	3	3	4	10
3	Inducción al sistema de control de explosivos	3	3	3	9
4	Manejo de los materiales de sostenimiento	3	2	2	7
5	Teoría	2	2	2	6

Fuentes: elaboración propia.

- Temas del plan de capacitación

El plan de capacitación entonces consiste en tres temas, necesarios para poder desarrollar de una manera correcta el proyecto de EPS:

- Manejo seguro y eficiente de explosivos
- Sistema de control de perforación
- Sistema de control de explosivos

- Metodología de enseñanza

La metodología a emplearse se basa en teórica y práctica: la parte teórica 80 % del total del programa y la parte practica 20 %; ya que para la parte práctica la mayoría está bien adaptado al trabajo pero no está acostumbrado a realizar documentación.

- Cada capacitación tendrá los siguientes puntos a cubrir:
 - Capacitación 1: manejo seguro y eficiente de explosivos
 - Contenido
 - ✓ Teoría de los materiales que manipulan a diario. Los materiales explosivos utilizados son: Anfo, emulsión encartuchada, cordón detonante, detonadores.
 - ✓ Tipos de detonadores, numeración, conexiones, detonación con detonador eléctrico y con mecha de seguridad. Para estos materiales se tratan las propiedades: densidad, velocidad de detonación, sensibilidad, permeabilidad, y otras específicas contenidas en la hoja de seguridad de cada material.
 - ✓ procedimientos de seguridad para el transporte y manipulación de materiales explosivos.
 - ✓ Uso de nuevos formatos delimitación de responsabilidades.
 - Técnicas y ayuda

La capacitación es a través de un curso impartido por una persona con conocimientos en el tema, en un salón de reuniones y en el cual el personal no excede de 8 personas.

El contenido es impartido con la ayuda de una presentación proyectada donde se enfatizan los aspectos más importantes; en la última sesión se realiza una evaluación verbal en general donde

en forma de foro se debate para enriquecer los temas tratados con base en la experiencia de cada uno.

- Tiempo
Esta capacitación tiene una duración de dos sesiones de una hora cada una. Tiempo total 2 horas.
- A quien va dirigido
Al personal de desarrollo de la mina subterránea, específicamente al personal de carguío de frentes.
- Capacitación 2: inducción al sistema de control de perforación
 - Contenido
 - ✓ El sistema de control de perforación en general y los subtemas: codificación de los aceros, nomenclatura de codificación de aceros.
 - ✓ Formato de control de aceros, los pasos para llenar el formato de control de aceros de forma correcta.
 - ✓ Introducción al taller de afilado de mina, el afilado de las brocas de perforación.
 - ✓ Diagrama del recorrido realizado por los mineros para completar el ciclo del control de aceros.
 - ✓ Stock de aceros mínimo en la máquina. Todo el material acerca de esta capacitación se encuentra en el inciso 2.4.1.1.

- Técnicas y ayuda

La capacitación es a través de un curso impartido por una persona con conocimientos en el tema, en un salón de reuniones y en el cual el personal no excede de 8 personas.

Al ser la inducción solo un nuevo sistema a implementar en la empresa, se debe tomar el tiempo necesario para que el personal comprenda el ciclo completo y dé a conocer sus inquietudes para conseguir una mejor adaptación al momento de la implementación.

El contenido es impartido con la ayuda de una presentación proyectada donde se enfatizan los aspectos más importantes y en la última sesión se realiza una práctica de llenado de formatos; con un caso ficticio pero cotidiano en el cual se aclaran las inquietudes que puedan surgir con el sistema de control de aceros, antes de su implementación.

- Tiempo

Esta capacitación tiene una duración de cuatro sesiones de una hora cada una. Tiempo total 4 horas.

- A quien va dirigido

Al personal de desarrollo de la mina subterránea, específicamente al personal de perforación, sostenimiento y al operador de todo equipo de perforación de la mina.

- Capacitación 3: Inducción al sistema de control de explosivos

- Contenido
 - ✓ El sistema de control de explosivos en general y los subtemas: el vale de consumo de explosivos y el llenado del vale.
 - ✓ Procedimiento de las firmas autorizadas.
 - ✓ Carga estándar de explosivos a utilizar en los frentes, el porqué de esta carga y el cálculo del explosivo a utilizar.
 - ✓ Diagrama de recorrido realizado por los mineros para completar el ciclo de control de explosivos y las plantillas de carguío de frentes para todas las secciones de excavación. Todo el material acerca de esta capacitación se encuentra en el inciso 2.4.2.1.

- Técnicas y ayuda

La capacitación es a través de un curso impartido por una persona con conocimientos en el tema, en un salón de reuniones y en el cual el personal no excede de 8 personas.

Al ser la inducción solo un nuevo sistema a implementar en la empresa, se debe tomar el tiempo necesario para que el personal comprenda el ciclo completo y dé a conocer sus inquietudes para conseguir una mejor adaptación al momento de la implementación.

El contenido es impartido con la ayuda de una presentación proyectada donde se enfatizan los aspectos más importantes y en

la última sesión se realiza una práctica de llenado del vale de consumo de explosivos, con un caso ficticio pero cotidiano en el cual se aclaran las inquietudes que puedan surgir con el sistema de control de explosivos, antes de su implementación.

- Tiempo

Esta capacitación tiene una duración de dos sesiones de una hora cada una. Tiempo total 2 horas.

- A quien va dirigido

Al personal de desarrollo de la mina subterránea, específicamente al personal de carguío de frentes.

- Cronogramas de capacitaciones

A continuación, se muestra el cronograma establecido de cada capacitación que se deberá impartir los primeros días de cada mes quedando establecidos desde la culminación del proyecto en adelante.

Tabla XXXVI. **Cronograma de capacitaciones**

Capacitación a Desarrollar	Diciembre 2014	Enero 2015	Febrero 2015	Marzo 2015
Manejo seguro y eficiente de explosivos				
Sistema de control de perforación				
Sistema de control de explosivos				

Fuente: elaboración propia.

4.3. Resultados de la capacitación

Los resultados del plan de capacitación que se pudieron desarrollar durante la duración del proyecto de EPS se mencionan a continuación:

- Objetivos del plan de capacitación
 - Formar, empoderar, fortalecer y orientar al personal sobre la elaboración de herramientas técnicas, uso de nuevos formatos funcionales que garanticen la eficiente manera de accionar del área y la institución.
 - Elevar la capacidad en la toma de decisiones sobre las problemáticas presentadas del programa, propiciando el intercambio de experiencias y el empoderamiento de conocimientos prácticos para su vida diaria y su desarrollo eficiente en la organización.

- A quienes va dirigido

Al personal operativo de la mina subterránea y tiene el objetivo de fortalecer las deficiencias teóricas identificadas y realizar la inducción a los sistemas de mejora implementados en este proyecto.

- Recursos humanos, técnicos y materiales
 - Humanos
 - Capacitador de las 3 capacitaciones: Luis García Alarcón (persona encargada del EPS).

- Técnicos
 - Televisión con DVD
 - Video
 - Computadora
 - Impresora
 - Tinta de impresora
 - Cámara fotográfica
 - Retroproyector

- Materiales
 - Papel
 - Marcadores
 - Cuadernos
 - Lapiceros
 - Hojas en blanco
 - Resistol
 - Regla
 - Almohadilla
 - *Masking* tape

- Capacitación 1: manejo seguro y eficiente de explosivos

A nivel organizacional, se fortalece la relación empresa-empleado. A nivel del recurso humano, se eleva el conocimiento del personal operativo en el tema de explosivos lo cual los hace crecer a nivel individual y se percibe un cambio de actitud en el comportamiento en materia de seguridad industrial al manipular explosivos.

A nivel operacional, se percibe un aumento de la eficiencia del proceso ya que el personal operativo se siente instruido y capacitado en el tema que realiza a diario; tomando mejores decisiones en los materiales que utiliza. Esto se refleja en la calidad de disparos que se tienen después de una voladura.

Capacitación 2: inducción al sistema de control de perforación

A nivel organizacional, se aumenta la eficacia organizacional y facilita la implementación de sistemas que contribuyen a innovar en la organización. A nivel del recurso humano, aumento de la eficiencia individual en el consumo de aceros de perforación ya que se reduce la cantidad promedio consumida y se eleva el conocimiento del personal en sistemas que contribuyen a tener un mejor control de los recursos disponibles.

A nivel operacional, contribuye a que el personal de perforación controle el consumo de aceros y reduzca los costos de operación.

Capacitación 3: inducción al sistema de control de explosivos

A nivel organizacional, se aumenta la eficacia organizacional y facilita la implementación de sistemas que contribuyen a innovar en la organización. A nivel del recurso humano, aumento de la eficiencia individual del empleado al controlar mejor la salida, el consumo y la devolución del material explosivo y adquirir conocimiento en sistemas de control de estos materiales.

A nivel operacional, se consigue que el personal trabaje y controle el material explosivo de una mejor manera, consiguiendo reducir costos.

4.4. Costos de la propuesta

La evaluación de costos se realiza en general para las tres capacitaciones y de los recursos en los que la empresa incurrió para ejecutar las capacitaciones.

Según la siguiente tabla los costos totales de capacitación ascienden a Q. 7 090,00.

Tabla XXXVII. **Costos de plan de capacitación**

Recursos	Costo fijos			
	Descripción	Cantidad	Costo/unitario	Costo total
Humanos	Capitador : Luis Alfredo García Alarcón	1	Q -	Q -
	Asesor interno: ingeniero de operaciones	1	Q -	Q -
	Personal capacitado	20	Q 170.00	Q 3,400.00
Subtotal				Q 3,400.00
Servicios	Salón y material audiovisual	1	Q -	Q -
	Internet/luz/telefonía	1	Q 100.00	Q 100.00
Subtotal				Q 100.00
Costos variables				
Materiales de apoyo	Lápices	40	Q 2.50	Q 100.00
	Lapiceros	40	Q 4.00	Q 160.00
	Hojas (resmas de 500 hojas)	2	Q 40.00	Q 80.00
	Diplomas de acreditación de capacitación	20	Q 50.00	Q 1,000.00
	CD con material de apoyo	20	Q 30.00	Q 600.00
Subtotal				Q 1,940.00
Insumos	Refacción	22	Q 75.00	Q 1,650.00
Total				Q 7,090.00

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. En este proyecto se aplicaron las herramientas de ingeniería que contiene el estudio del trabajo en los procesos de la mina subterránea para analizar la perforación, carga de explosivos y sostenimiento; evaluando métodos, maquinaria, materiales y tiempos para determinar las áreas de oportunidad para implementar sistemas de mejora, consiguiendo una mejora medible en las operaciones que se puede verificar mediante los indicadores desarrollados.
2. Ejecutadas las mejoras en los procesos de la mina subterránea se consigue aumentar la productividad en las operaciones y esto se refleja en los indicadores de eficiencia de voladuras, consumo específico de explosivo, consumo de mallas de sostenimiento y consumo de pernos de sostenimiento; los cuales ayudan a administrar de mejor manera el sistema de control de aceros y el sistema de control de explosivos.
3. El sistema de control de aceros fue implementado debido a que se detecta una deficiencia en el manejo y control de los aceros en la perforación, la implementación de este sistema requiere tiempo y esfuerzo ya que requiere de la colaboración y adaptabilidad del personal operativo, el apoyo de la supervisión y la colaboración en la solicitud de insumos y herramientas por parte de la gerencia. Los beneficios del sistema implementado en su totalidad fueron: el control del consumo de los aceros, reducción de tiempos de entrega, reducción de consumo de aceros, reducción de consumo de aceros de desperdicio, identificación de causas de falla de aceros, aumento del tiempo de vida de brocas por re afilado,

entre otras. Este sistema requiere de seguimiento durante toda la operación para garantizar el control y funcionamiento del sistema y se puede demostrar mediante el indicador de eficiencia de voladuras que está ligado a este proceso que y el cual percibe una mejora de un 83.9% a un 95.4 %.

4. El sistema de control de explosivos fue implementado debido a la deficiencia en el control de material explosivo consumido y para reforzar la seguridad en el manejo de este material dentro de mina subterránea. Con la implementación de este sistema se obtuvieron los siguientes beneficios: controlar la cantidad de material explosivo consumido por voladura, por operador, por día, etc., aumento en la responsabilidad de manipulación de material explosivo por los operadores, la supervisión y el experto en explosivos encargado la distribución, control en la salida, devolución y consumo del material explosivo, disminución de la cantidad de material explosivo utilizada por voladura debido a la carga estándar de explosivo lo cual se ve reflejado en el indicador de consumo específico de explosivos que disminuye de un 2.2 Kg/m³ a 1.8 Kg/m³ de explosivos utilizados, mejoramiento en la calidad de disparo debido a la utilización correcta de cada tipo de material explosivo y a mejores técnicas aplicadas y que se refleja en el indicador de eficiencia de voladuras que aumenta de un 83.9 % a un 95.4 %, aumento de la seguridad en la manipulación de material explosivo debido a los procedimientos implementados. Este sistema requiere de seguimiento durante toda la operación para garantizar el control y funcionamiento del sistema.
5. Con la aplicación de las mejoras a los procesos de perforación y voladuras se consigue mejorar la calidad de obra en la excavación de la mina subterránea ya que según el dato que se generan en el departamento de

topografía disminuye de un 15 % a un 8 % respecto de la sección de túnel diseñada. Por lo tanto, las plantillas de perforación, carga de explosivos y un mejor criterio de los operadores en la toma de decisiones respecto de un frente son ahora mejores.

6. Con las técnicas de sostenimiento que los operadores utilizar en los frentes de trabajo se percibe una mejora muy significativo en el ahorro de materiales de sostenimiento que impactan en la disminución de los costos de operación y los cuales se reflejan mediante en indicador de consumo de mallas de sostenimiento que baja de 159,5 % a 122 %; esto quiere decir que el traslape de mallas se está haciendo correctamente ya que según nos muestra el indicador, el rango de aceptación de traslape de mallas esta dado en un porcentaje de entre 110 % a 130 % Y el indicador de consumo de pernos de sostenimiento que baja de 1,5 a 1,1 pernos instalados por metro cuadrado; esto quiere decir que se está realizando el sostenimiento correcto y no se están colocando pernos innecesarios, ya que el indicador de consumo de pernos que son aceptados, tiene un rango de aceptación que va desde 0,8 a 1,2 pernos por metro cuadrado instalados.
7. La propuesta de ahorro de energía eléctrica en la ventilación de mina subterránea es un proyecto factible y totalmente ejecutable ya que el índice de beneficio – costo indica un valor de 10,30 y el proyecto ejecutado ofrece un ahorro mínimo de Q. 6 200,83 al día en la energía eléctrica consumida en ventilación, lo cual equivale al 15,80 % del costo total de la energía eléctrica consumida.

8. Se realizaron capacitaciones de beneficio ya que contribuyeron a que el personal tuviera una mejor adaptación en la implementación del sistema de control de explosivos y al sistema de control de aceros, facilitándoles los procedimientos, las herramientas, el conocimiento y los diagramas de operación mismos antes y durante la implementación. Por otra parte, se capacitó al personal operativo con conocimientos teóricos del manejo seguro y eficiente de los explosivos para enriquecer los conocimientos deficientes de quienes manejan este material; beneficiando a la organización, al recurso humano y a la operación.

RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento al sistema de control de aceros ya implementado con un colaborador que supervise de cerca el funcionamiento del sistema: se supervisar a los tres colaboradores que se dedican a despachar en el área de control de aceros; revisar reportes y llevar el control de consumo de aceros; tener un control estadístico de las fallas de aceros, presentar reportes de consumos a gerencia; asegurarse de que los colaboradores realicen un buen llenado del formato de control de aceros y trabajar con las deficiencias y la resistencia al cambio. Todo esto con el objetivo de una mejora continua en el sistema y que se aproveche al máximo el contar con este sistema ya implementado.
2. Realizar un programa que otorga premios o regalos a los operadores que consumen menos aceros después de revisar los resultados durante un mes o cierto periodo de tiempo, para incentivar al personal operativo al aprovechamiento de los recursos asignados. Dicho programa puede ser autosostenible debido a la venta para reciclaje de los aceros de desecho y que puede dividirse en la venta del acero o tungsteno que aún queda en los botones desgastados de cada una de las brocas.
3. Dar seguimiento al sistema de control de explosivos ya implementado con un colaborador que supervise de cerca el funcionamiento del sistema: revisar el consumo de material explosivo e identificar puntos críticos en los que se realice un sobre consumo; trabajar en estos puntos críticos, digitar la información de consumo para tener un control

por operador, por grupo, por frente de trabajo, por un determinado tiempo, etc., en base a lo anterior proponer y ejecutar mejoras para disminuir la cantidad de material explosivo gastado y poder obtener un ahorro significativo con el sistema ya implementado.

4. Contrata un colaborador para la supervisión del sistema de control de aceros que se encargue, también, del sistema de control de explosivos para aprovechar la contratación.
5. Ejecutar la propuesta de ahorro de energía eléctrica para la ventilación de la mina subterránea, ya que el índice beneficio – costo indica que se puede obtener un gran beneficio con la implementación. Realizar una investigación más detallada de la propuesta.
6. Al MEM, que la minería sustentable obliga a pensar más allá de tan solo minería como actividad y sus impactos. Se necesita reflexionar en el desarrollo regional y local, en el bienestar humano y sus saludables efectos económicos teniendo una visión a largo plazo, donde la minería como actividad productiva en nuestro país es un medio de desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

1. EQUIPO MMSD AMERICA DEL SUR. *Ingeniería, minerales y desarrollo sustentable en América del Sur*. 3ra ed. Chile: Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente, CIPMA y Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, IDRC- Iniciativa de Investigación sobre Políticas Mineras, IIPM, 2004. 629 p.
2. GARCIA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo, ingeniería de métodos*. México: Mcgraw Hill, 1998. 155 p.
3. _____. *Estudio del trabajo, medición del trabajo*. México: Mcgraw Hill, 1998. 218 p.
4. JIMÉNEZ MUJICA, Ana Guadalupe. *Diseño y cálculo de la voladura de una galería*. Trabajo de graduación de Inga. civil. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2006. 206 p.
5. NIEBEL. *Ingeniería industrial, métodos, tiempos y movimientos*. 9ª ed. México: Alfaomega, 1996. 443 p.
6. RIVAS RIVERA, Ángel Antonio. *Diseño e implementación de mejoras aplicadas a los procedimientos administrativos en las reparaciones de maquinaria subterránea en la mina Marlín por medio de la corporación general de tractores GENTRAC*. Trabajo de

graduación de ingeniería mecánica industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2013. 141 p.

7. ROMERO ARCHILA, Donal Leonel. *Optimización de procesos mecánicos y diseño del plan de mantenimiento en la mina Marlín, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos*. Trabajo de graduación de ingeniería mecánica industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2013. 158 p.