

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**“OPTIMIZACIÓN DE LA EJECUCIÓN DE GALERÍAS Y CRUCEROS EN LA
MINA ANA MARÍA MEDIANTE ESTANDARIZACIÓN DE PERFORACIÓN Y
VOLADURA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LUIS RAMOS BORDA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PROMOCIÓN 2010 – I

PUNO-PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS****TESIS**


“OPTIMIZACIÓN DE LA EJECUCIÓN DE GALERÍAS Y CRUCEROS EN LA MINA ANA MARÍA MEDIANTE ESTANDARIZACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA”

PRESENTADA POR: Bach. LUIS RAMOS BORDA

A la Dirección de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano como requisito para optar el título de Ingeniero de Minas.

APROBADA POR:

PRESIDENTE


.....
M.Sc. Ing. Mario Cuentas Alvarado

PRIMER MIEMBRO


.....
M.Sc. Ing. Jorge Durant Broden

SEGUNDO MIEMBRO


.....
Ing. Américo Arizaca Ávalos

DIRECTOR DE TESIS


.....
M.Sc. Ing. Esteban Marín Paucara

ASESOR DE TESIS


.....
Ing. Juan C. Chayña Contreras

ÁREA: INGENIERÍA DE MINAS

TEMA: ANÁLISIS DE COSTOS MINEROS Y COMERCIALIZACIÓN DE MINERALES

DEDICATORIA

A mis padres: Epifanio y Juana con inmenso cariño y gratitud por su incondicional y fiel apoyo para lograr mis objetivos.

Con fraternal efecto a mis hermanos: Toribia, Jusué, Uriel y Marquinho. Quienes me alentaron en todo instante para la culminación de mis estudios.

A mi esposa Guadalupe y a mi hijo Frank por su aliento permanente, paciencia y comprensión.

AGRADECIMIENTO

Mi reconocimiento y gratitud:

A la Universidad Nacional del Altiplano mi Alma Mater, pues allí me forme no solo como profesional, sino como ser humano; a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas por sus enseñanzas de conocimientos teóricos y prácticos para aplicarlos en la vida profesional.

A los miembros jurados revisores, director y asesor del presente proyecto de investigación, por su apoyo incondicional en el desarrollo de la presente, desde un inicio hasta la culminación de la misma.

A la Empresa Corporación Minera Ananea S.A. y a su Gerente General Ing. Nemesio Barrantes Callata, por haberme brindado la oportunidad de ejercer mi carrera y ampliar mi experiencia en minería subterránea.

A los Ingenieros: Orlando Pari Ingaluque (Superintendente General), Humberto Canales Gutiérrez (Jefe de Mina), Henry Lerma Uchasara (Asistente Jefe de Mina), quienes me brindaron el apoyo cuando yo laboraba en dicha empresa.

ÍNDICE

DEDICATORIA III

AGRADECIMIENTO IV

RESUMEN XIII

INTRODUCCIÓN XIV

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática 1

1.2 Formulación del problema 3

1.2.1. Pregunta general 3

1.2.2. Preguntas específicas 3

1.3 Objetivos de la investigación 3

1.3.1. Objetivo general 3

1.3.2. Objetivos específicos 4

1.4 Justificación de la investigación 4

1.5 Limitaciones del estudio 5

1.6 Viabilidad del estudio 6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación 7

2.2. Bases teóricas 8

2.2.1. Estandarización 9

2.2.2. Metodología de los 7 pasos del control de la calidad 14

2.2.3. Perforación de rocas 27

2.2.4. Voladura de rocas 36

2.2.5. Costos 41

2.3. Definiciones conceptuales 44

2.4.	Formulación de hipótesis	46
2.4.1.	Hipótesis general.....	46
2.4.2.	Hipótesis específicos.....	46

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	Diseño metodológico	47
3.2.	Población.....	49
3.3.	Muestra.....	49
3.4.	Operacionalización de las variables	49
3.5.	Técnicas.....	51
3.5.1.	Instrumentos de recolección de datos	51
3.5.2.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	52

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

4.1.	Aspectos generales	53
4.1.1.	Ubicación	53
4.1.2.	Accesibilidad.....	53
4.1.3.	Clima.....	54
4.1.4.	Flora	54
4.1.5.	Fauna.....	54
4.2.	Aspecto geológico.....	55
4.2.1.	Geología regional	55
4.2.2.	Geología local	58
4.2.3.	Geología estructural	59
4.2.4.	Geología económica.....	59
4.2.5.	Mineralización.....	60
4.3.	Geomecánica	61

4.3.1.	Manejo de la información básica	61
4.3.2.	Aplicaciones de la información básica.....	66
4.4.	Descripción del proceso operativo mina	67
4.4.1.	Ciclo de minado	68
4.4.2.	Descripción de explotación por subniveles con tajeo en retirada	69

CAPÍTULO V

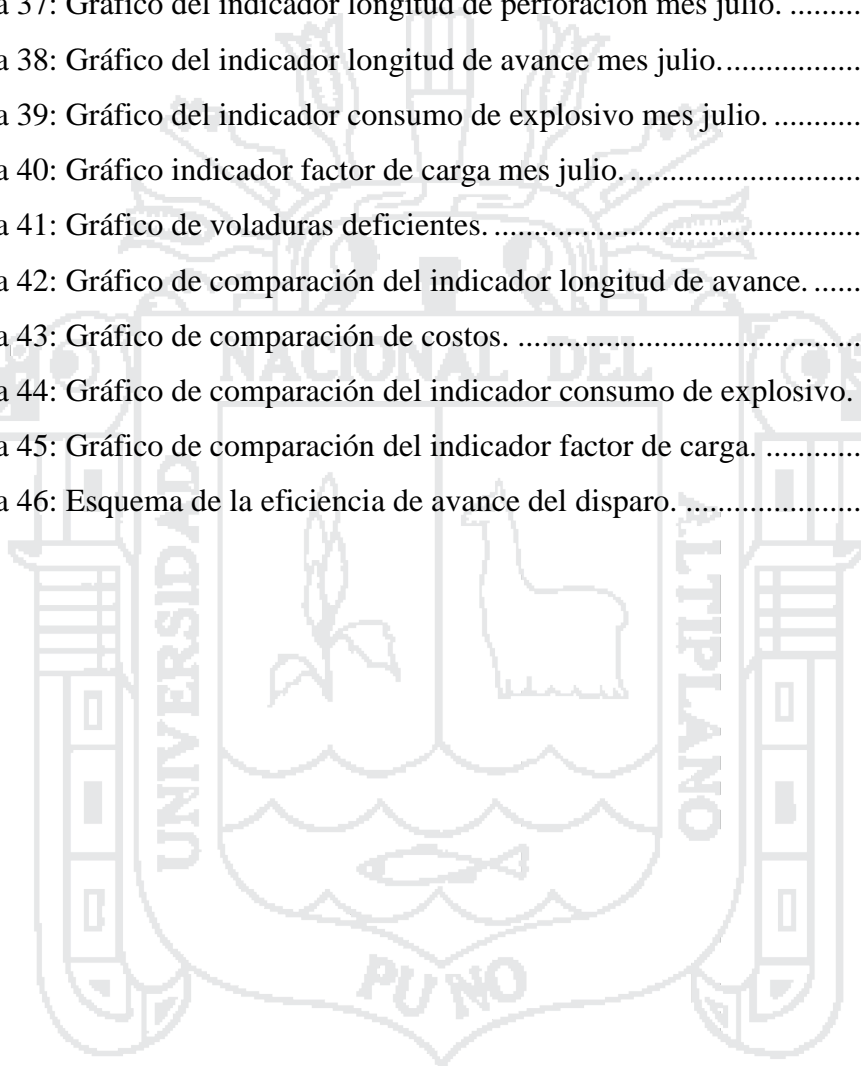
EXPOSICIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.	Generalidades	72
5.2.	Desarrollo del proyecto mediante la metodología de los 7 pasos	72
5.2.1.	Paso 1: Selección del tema y definición del problema.....	72
5.2.2.	Paso 2: Diagnóstico de la situación actual y fijar objetivos.....	78
5.2.3.	Paso 3: Planear actividades	87
5.2.4.	Paso 4: Análisis de causas.....	88
5.2.5.	Paso 5: Implementación de contramedidas	92
5.2.6.	Paso 6: Verificación de resultados	103
5.2.7.	Paso 7: Estandarización y control	108
5.3.	Resultados finales.....	110
5.3.1.	Interpretación de resultados	110
5.3.2.	Discusión del indicador longitud de avance.....	115
CONCLUSIONES		119
RECOMENDACIONES.....		120
BIBLIOGRAFÍA		121
WEB GRAFÍA.....		123
ANEXOS		124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama del proceso de toma de decisiones estandarizado.....	11
Figura 2: Formato para la elaboración de estándares.	13
Figura 3: Diagrama del modelo de la metodología de los 7 pasos	15
Figura 4: Esquema del ciclo de mejora PHVA derivado.....	19
Figura 5: Esquema de trazo y arranque.	30
Figura 6: Esquema de trazos de corte quemado para la apertura de un frente	32
Figura 7: Esquema del marcado de un frente estándar	33
Figura 8: Esquema de ubicación de taladros en una malla estándar.....	34
Figura 9: Diagrama de desarrollo de la metodología de los 7 pasos	48
Figura 10: Esquema del corte geológico del yacimiento Ana María.....	57
Figura 11: Esquema del corte geológico de los mantos.....	60
Figura 12: Esquema del ciclo de minado mina Ana María.....	68
Figura 13: Esquema del método de explotación de subniveles con tajeo en retirada.....	71
Figura 14: Organigrama general de la empresa.	74
Figura 15: Organigrama Área Mina.....	75
Figura 16: Esquema del proceso de un ciclo de minado.....	76
Figura 17: Esquema de caracterización del proceso de perforación y voladura.....	77
Figura 18: Gráfico del rendimiento de avance presupuestado y real.....	78
Figura 19: Gráfico del indicador número de taladros.	79
Figura 20: Gráfico del indicador longitud de perforación.	80
Figura 21: Gráfico del indicador longitud de avance.	80
Figura 22: Gráfico del indicador consumo de explosivo.....	81
Figura 23: Gráfico del indicador factor de carga.....	81
Figura 24: Diagrama de Pareto factores críticos de los procesos de perforación y voladura.	89
Figura 25: Diagrama de Pareto de las deficiencias en el factor método de trabajo	90
Figura 26: Diagrama de Pareto de las deficiencias en el factor máquinas y servicios. ..	91
Figura 27: Diagrama de Pareto de las deficiencias en el factor mano de obra.....	92
Figura 28: Esquema del pintado de la malla de perforación.....	93
Figura 29: Esquema de perforación según el pintado de malla.	94
Figura 30: Esquema del control de paralelismo de los taladros.	94
Figura 31: Esquema del control de longitud de los taladros.....	95

Figura 32: Esquema de la distribución de carga estandarizada.	96
Figura 33: Esquema de taco de detritus.	97
Figura 34: Esquema del cuaderno de obra de labor.	99
Figura 35: Esquema del Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS).	101
Figura 36: Gráfico del indicador número de taladros mes julio.	104
Figura 37: Gráfico del indicador longitud de perforación mes julio.	105
Figura 38: Gráfico del indicador longitud de avance mes julio.	105
Figura 39: Gráfico del indicador consumo de explosivo mes julio.	106
Figura 40: Gráfico indicador factor de carga mes julio.	107
Figura 41: Gráfico de voladuras deficientes.	107
Figura 42: Gráfico de comparación del indicador longitud de avance.	112
Figura 43: Gráfico de comparación de costos.	113
Figura 44: Gráfico de comparación del indicador consumo de explosivo.	114
Figura 45: Gráfico de comparación del indicador factor de carga.	114
Figura 46: Esquema de la eficiencia de avance del disparo.	116



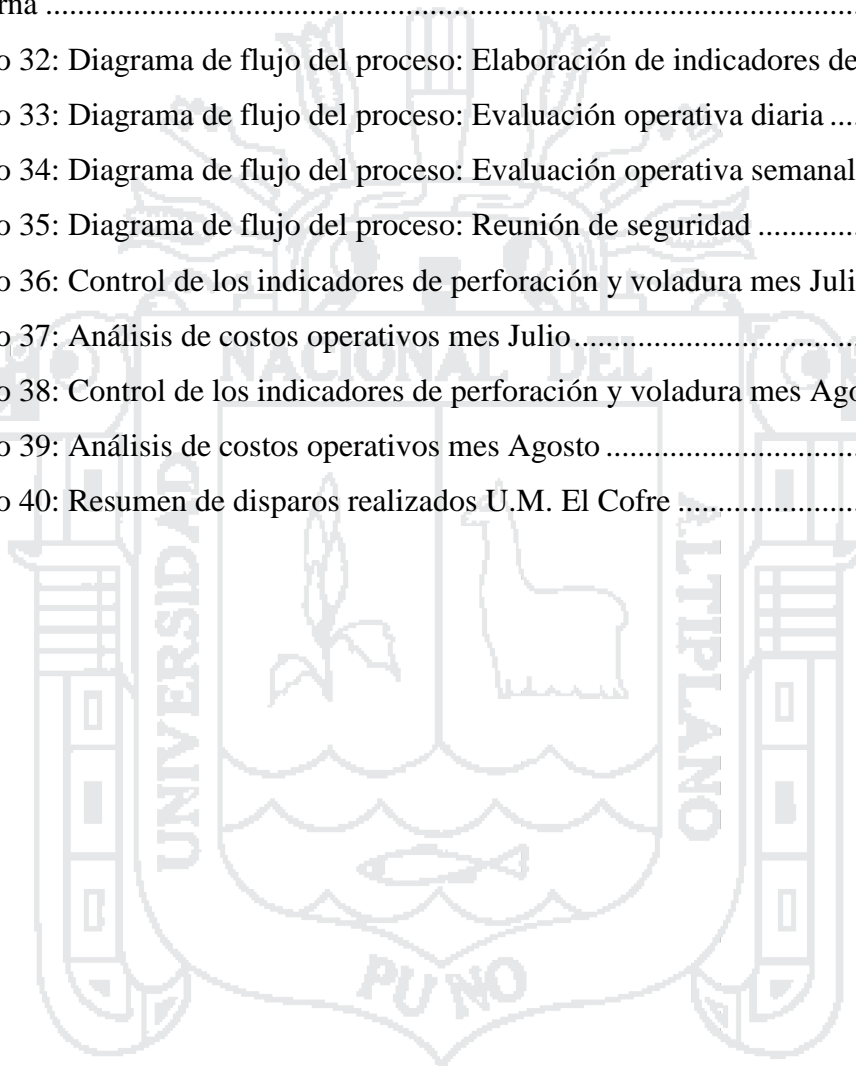
ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Regla práctica para ejecutar contramedidas.....	24
Cuadro 2: Clasificación de la dureza de roca	29
Cuadro 3: Energía de los explosivos en MPa	39
Cuadro 4: Consumo de explosivo/m ³ de roca arrancada	41
Cuadro 5: Operacionalización de las variables.....	51
Cuadro 6: Temperaturas medias anuales	54
Cuadro 7: Criterios de resistencias de roca.....	63
Cuadro 8: Resumen de valores calculado	65
Cuadro 9: Resumen control de defectos en los procesos de perforación y voladura.....	86
Cuadro 10: Control de voladuras deficientes.....	87
Cuadro 11: Control aceros de perforación.....	100
Cuadro 12: Resumen análisis de costos operativos	108
Cuadro 13: Indicadores de perforación y voladura presupuestado y real.....	109
Cuadro 14: Indicadores de perforación y voladura antes, durante y después de la estandarización.....	111
Cuadro 15: Identificación de problemas principales	117

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Plano del Proyecto Galería 200-W.....	125
Anexo 2: Plano Geomecánico del Proyecto Galería 200-W.....	126
Anexo 3: Matriz de consistencia.....	127
Anexo 4: Mapa de Ubicación Geográfica de la U.E.A. Ana María	128
Anexo 5: Mapa de Ubicación Geológica de la U.E.A. Ana María.....	129
Anexo 6: Columna estratigráfica del Área Ana María	130
Anexo 7: Sistema de valoración RMR (según <i>Bieniawsky</i> , 1989)	131
Anexo 8: Cartilla geomecánica mina Ana María.....	132
Anexo 9: Análisis de FODA mina Ana María.....	133
Anexo 10: Diagrama de flujo del proceso: Procedimiento de perforación de frentes en la situación inicial.....	134
Anexo 11: Diagrama de flujo del proceso: Procedimiento de voladura de frentes en la situación inicial.....	135
Anexo 12: Control de los indicadores de perforación y voladura en la situación inicial	136
Anexo 13: Análisis de costos operativos en la situación inicial.....	137
Anexo 14: Hoja de verificación de los procesos de perforación y voladura	138
Anexo 15: Control de defectos en los procesos de perforación y voladura.....	139
Anexo 16: Cronograma de desarrollo de actividades del proyecto	140
Anexo 17: Diagrama de causa – efecto de los factores en los procesos de perforación y voladura	141
Anexo 18: Tabla de propuesta de contramedidas a implementar	142
Anexo 19: Estándares de perforación y voladura en galerías y cruceros 7' x 7'	143
Anexo 20: Formato de campo registro de perforación y voladura	149
Anexo 21: Registro de perforación y voladura en campo	150
Anexo 22: Programa de capacitación anual.....	151
Anexo 23: Control y distribución de personal.....	152
Anexo 24: Programa de mantenimiento de equipos mina	153
Anexo 25: Diagrama de flujo del proceso: Procedimiento de perforación en frentes a implantar	154
Anexo 26: Diagrama de flujo del proceso: Procedimiento de voladura en frentes a implantar	155

Anexo 27: Diagrama de flujo del proceso: Programa anual	156
Anexo 28: Diagrama de flujo del proceso: Presupuesto mina	157
Anexo 29: Diagrama de flujo del proceso: Programa mensual	158
Anexo 30: Diagrama de flujo del proceso: Programa y planeamiento semanal	159
Anexo 31: Diagrama de flujo del proceso: Reunión de coordinación diurna y nocturna	160
Anexo 32: Diagrama de flujo del proceso: Elaboración de indicadores de gestión	161
Anexo 33: Diagrama de flujo del proceso: Evaluación operativa diaria	162
Anexo 34: Diagrama de flujo del proceso: Evaluación operativa semanal	163
Anexo 35: Diagrama de flujo del proceso: Reunión de seguridad	164
Anexo 36: Control de los indicadores de perforación y voladura mes Julio	165
Anexo 37: Análisis de costos operativos mes Julio	166
Anexo 38: Control de los indicadores de perforación y voladura mes Agosto	167
Anexo 39: Análisis de costos operativos mes Agosto	168
Anexo 40: Resumen de disparos realizados U.M. El Cofre	169



RESUMEN

El presente proyecto de investigación titulado *Optimización de la ejecución de galerías y cruceros en la mina Ana María mediante estandarización de perforación y voladura*, es el resultado del problema del bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m. que ocasionan mayores costos operativos en la Unidad Minera Ana María, esta situación se ve reflejada en la ejecución del proyecto Galería 200 W, donde el rendimiento de avance es de 1.11 m. que es bajo en un 18% con respecto al establecido de 1.35 m; por el cual, el objetivo general del proyecto es optimizar la ejecución de galerías y cruceros mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura, empleando la metodología de los 7 pasos del control de la calidad que es un método científico, que permite solucionar los problemas de forma racional, científica y efectiva, mediante el uso de las herramientas de la calidad como: diagrama de flujo, diagrama de causa-efecto, hoja de verificación, gráfica de control y diagrama de Pareto, entre otras, que permiten identificar, medir y analizar los problemas. La metodología consistió en la recolección y análisis de datos, en seguida se realizó el análisis de las causas del problema, luego se dio las contramedidas, posteriormente se evaluaron los efectos y finalmente se estandarizó las mejoras y reglas que se establecieron. Como resultado del proyecto, se ha logrado superar el problema principal del bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros, el cual se incrementó de 1.11 metros/disparo a 1.32 metros/disparo; también en costos se redujo de 214.60 US\$/m. a 174.40 US\$/m. Además se redujo los índices de los indicadores como número de taladros en un 3%, consumo de explosivos en un 4% y factor de carga en un 19%.

Palabras Claves: Perforación, Voladura, Proceso, Estándares, Optimización, Herramientas del control de la calidad.

INTRODUCCIÓN

La mina Ana María, es un yacimiento aurífero de origen singenético, exalativo sedimentario, cuyo cuerpo mineralizado se presenta en mantos, con una producción de 25 TM/día, con el método de explotación por subniveles con tajeo en retirada convencional que es una variante del método cámaras y pilares. La explotación está a cargo de la Empresa Corporación Minera Ananea S.A. (CMASA).

Debido a la coyuntura actual económica y demanda de los metales, que tienden a bajar, las empresas mineras buscan constantemente maneras de reducir sus costos y optimizar sus recursos, para alcanzar sus metas y proyecciones y para mantenerse activos. La mina en estudio, no es ajena a esta realidad y necesita optimizar sus procesos operativos, en especial los procesos de perforación y voladura, que es el primer trabajo en operación mina de la cual dependen muchos trabajos que se derivan de ella. El problema es el bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m., que influye directamente en el incremento de los costos operativos.

El presente proyecto se divide en cinco Capítulos, en el Capítulo I se realiza el planteamiento del problema, en el Capítulo II se desarrolla el marco teórico indicando las bases teóricas y definiciones conceptuales para ejecutar el proyecto de investigación, en el Capítulo III se plantea la metodología del trabajo de investigación y la operacionalización de variables, en el Capítulo IV se describe la caracterización del área de investigación, en el Capítulo V se expone el desarrollo del proyecto siguiendo la metodología de los 7 pasos del control de la calidad y también se muestra los resultados finales logrados en la prueba piloto Galería 200-W y se realiza la discusión del indicador longitud de avance por disparo.

Producto del diagnóstico y evaluación de las causas del problema del bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m., se evidenció que los problemas están relacionado a los factores que intervienen directamente en los procesos de perforación y voladura: método de trabajo, mano de obra, materiales y herramientas, máquina y servicios, ambiente de trabajo y seguridad.

El presente proyecto de investigación, está orientado a estandarizar los procesos de perforación y voladura, a partir del empleo de la metodología de los 7 pasos del control de la calidad que es un método científico e información del yacimiento Ana María, que busca mejorar la realización de las actividades de perforación y voladura de una manera eficiente, segura y obtener resultados óptimos en cuanto a productividad y costos para poder contribuir con los objetivos propuestos por la empresa.

El método consiste en 7 pasos definidos, en el paso 1 se define el problema y se selecciona el tema, en el paso 2 se describe la situación actual de los procesos y se fija objetivos, en el paso 3 se elabora el plan de actividades a realizar durante el proyecto, en el paso 4 se realiza el análisis de las causas raíz del problema, en el paso 5 se implementa las acciones de contramedidas frente a las causas raíz del problema, en el paso 6 se evalúa los resultados luego de implementadas las contramedidas y en el paso 7 se estandariza y se establece controles de las mejoras y reglas que se establecieron.

La importancia de adoptar la metodología de los 7 pasos del control de la calidad para estandarizar de los procesos de perforación y voladura, radica en que es aplicable en cualquier industria, y lo más importante del uso de esta metodología es que sirve para el análisis, control, evaluación, hasta lograr la estandarización y permite lograr ahorros y seguridad de manera sostenida en las operaciones, mediante el uso de herramientas como diagramas de flujo, diagramas de causa-efecto, hojas de verificación, diagrama de Pareto, graficas de control lineal, entre otras.

Con la estandarización de los procesos de perforación y voladura y aplicado la prueba piloto Galería 200 W, se logró superar el problema principal del bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros, mejorando en un 19%. Además se optimizan los costos operativos y los principales indicadores de perforación y voladura.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

La consecuencia del avance tecnológico, en las industrias mineras y la constancia por mejorar los procesos productivos tendientes a un mayor beneficio económico, constantemente las empresas buscan maneras de reducir sus costos y optimizar los recursos para alcanzar metas y proyecciones.

La mina Ana María de la Empresa Corporación Minera Ananea S.A. (CMASA), se encuentra en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina de la región Puno, se dedica a la explotación de oro con una producción promedio de 25 toneladas métricas por día y las operaciones son por el sistema convencional.

Actualmente se vienen ejecutando labores de desarrollo y exploración, específicamente galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m, en donde se ha realizado la evaluación de los procesos de perforación y voladura mediante la elaboración de una hoja de verificación y/o *checklist* basado en la estrategia de las 5M, que es una herramienta del control de la calidad, donde se ha detectado varios problemas:

Mano de obra: Personal poco calificado, alta rotación de personal, actitud negativa, incumplimiento de procedimientos de trabajo, etc.

Método de trabajo: Falta de marcado de la malla y sección, falta de control del paralelismo y longitud de los taladros, Exceso de carga, supervisión deficiente, falta de zonificación geomecánica, no uso de taco inerte, etc.

Materiales y herramientas: Juego incompleto de barrenos, barrenos desgastados, falta de brocas, falta de guidores/atacadores, etc.

Máquina y servicios: Presión baja de aire/agua, máquina en mal estado, fugas de agua/aire, mantenimiento deficiente de equipos, exceso de empates en las instalaciones de agua/aire, etc.

Medio ambiente y seguridad: Mal desatado de labor, terreno fracturado, presencia de agua, etc.

Sumado a todo esto la permanente presencia de disparos fallados, tales como tiros soplados, tiros cortados y se tienen que realizar recargos de los taladros y se generan pérdidas.

Todo esto trajo como consecuencia bajo rendimiento de avance por disparo; esta situación se ve reflejada en la ejecución del proyecto Galería 200-W, donde las últimas estadísticas nos reportan 1.11 m de avance por disparo, incumpléndose en 18% respecto al establecido de 1.35 m, en costos se ha presupuestado 170.60 US\$/m y en real se tiene 214.60 US\$/m donde hay una diferencia de 44.60 US\$/m equivalente al 26% del costo presupuestado, debido a que no se tienen estándares para los procesos de perforación y voladura claramente definidas y establecidas. Esta problemática se debe a la escasa aplicación de metodologías de trabajo de la empresa, ya que ha ido adaptando sus actividades de los procesos de perforación y voladura de forma reactiva a las necesidades de producción y en base a la experiencia y habilidades del perforista, sin criterio técnico.

La Corporación Minera Ananea S.A. como productor de oro a pequeña escala, presenta una débil estandarización y documentación de sus procesos de perforación y voladura, lo cual conlleva a que el personal no tenga un estándar de trabajo que contribuya con las metas y objetivos propuestos por la empresa.

Por ello en la mina Ana María, se ha propuesto la ejecución de labores por métodos más prácticos a bajos costos y una de las tantas alternativas es estandarizar los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de la calidad que es un método científico que permitirá optimizar la productividad y costos de manera sostenida.

La particularidad de la ejecución de galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m es que se desarrollan mayormente sobre estéril y la longitud de desarrollo puede abarcar hasta kilómetros, esto dependiendo con qué fin se ejecuta y elaboran los proyectos. Por ello estas labores están destinadas a ejecutarlas con eficiencia, cuidando la significación de sus costos; han hecho que continuamente se vayan diseñando modalidades destinadas a mejores logros.

1.2 Formulación del problema

1.2.1. Pregunta general

¿Es posible optimizar la ejecución de labores subterráneas como galerías y cruceros en la mina Ana María, realizando la estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de calidad?

1.2.2. Preguntas específicas

- ¿Se podrá mejorar el rendimiento de avance por disparo, mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos?
- ¿Cómo influirá la estandarización de los procesos de perforación y voladura en la reducción de costos operativos?
- ¿Cuál es el estándar de perforación y voladura para mejorar la ejecución de galerías y cruceros?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Optimizar la ejecución de labores subterráneas como galerías y cruceros en la mina Ana María, mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de calidad.

1.3.2. Objetivos específicos

- Mejorar el rendimiento del avance por disparo, mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura, empleando la metodología de los 7 pasos.
- Determinar la influencia de la estandarización de los procesos de perforación y voladura en la reducción de costos operativos.
- Implementar nuevos estándares de perforación y voladura para mejorar la ejecución de galerías y cruceros.

1.4 Justificación de la investigación

El tema de estandarización de procesos mineros en la actualidad, es una herramienta fundamental para cualquier empresa y su adecuada implementación implica diagnosticar, describir y realizar un análisis detallado de los procesos operativos y lograr propuestas para obtener el mejoramiento y la estandarización de dichos procesos.

La estandarización de los procesos operativos de perforación y voladura, tiene como objetivo exponer la factibilidad de la mejora de eficiencias y reducción de costos operativos en una empresa minera, aplicando para ello estándares óptimos y mejoras operativas de trabajo, que permite además tener un mayor control sobre los procesos y calidad de los trabajos.

La mina Ana María no es ajena a este tema, y viene realizando la estandarización de sus principales procesos operativos mina, entre ellos la perforación y voladura que es el primer trabajo en operación mina de la cual dependen muchos trabajos que se derivan de ella.

En el caso específico de la ejecución de labores como galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m; los principales problemas en los procesos de perforación y voladura están relacionadas a los factores que intervienen en estos procesos: método, mano de obra, materiales y herramientas, máquinas y servicios, medio ambiente y seguridad; que trae como consecuencia resultados no óptimos en cuanto al rendimiento de avance por disparo que a su vez influye directamente en el incremento de los costos operativos.

Siendo el presente proyecto de investigación de mucha importancia titulado optimización de la ejecución de galerías y cruceros en la mina Ana María mediante la estandarización de perforación y voladura, que va orientado a estandarizar los procesos de perforación y voladura, a partir del empleo de la metodología de los 7 pasos del control de la calidad, que es un método científico e información del yacimiento Ana María, que busca mejorar la realización de las actividades de perforación y voladura de una manera eficiente, segura y obtener resultados óptimos en cuanto a productividad y costos para poder contribuir con los objetivos propuestos por la empresa.

Así mismo, la estandarización de los procesos de perforación y voladura, contribuirá a:

- Fortalecer la gestión de los procesos en la Unidad Minera.
- Brindar condiciones de trabajo que aseguren una adecuada protección del personal, de los recursos, de los procesos y del medio ambiente.
- Contar con personal capacitado para realizar las tareas.
- Facilitar la ejecución de tareas.
- Mejorar la disponibilidad de los recursos, el clima laboral y la rentabilidad.
- Maximizar los recursos, optimizando los tiempos, reduciendo las pérdidas y aprovechando las capacidades de los recursos tanto materiales como humanos.

1.5 Limitaciones del estudio

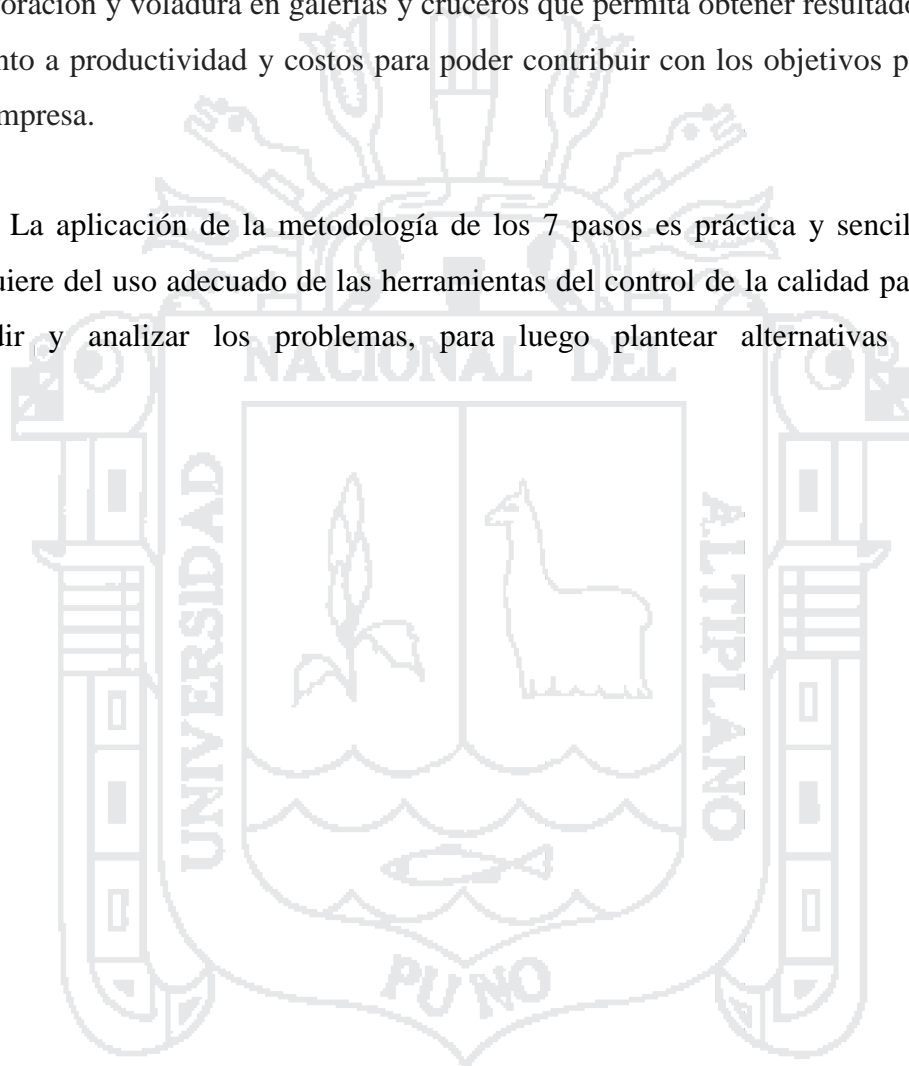
El desarrollo del estudio presentará dificultades en su desarrollo racional con respecto al tiempo que en realidad es muy apretado para cumplir su cometido, además existe limitaciones para encontrar fuentes de información en bibliografía en los temas correspondientes a estandarización de los procesos de perforación y voladura y aplicación de la metodología de los 7 pasos del control de la calidad para optimizar procesos mineros.

El estudio está limitado fundamentalmente a la aplicación de un determinado método de optimización de procesos operativos mina en el ámbito de la empresa Corporación Minera Ananea S.A. y también para una adecuada aplicación de la metodología de los 7 pasos del control de la calidad es necesario establecer círculos de mejoramiento continuo.

1.6 Viabilidad del estudio

El trabajo de investigación esta íntegramente relacionado con la actividad minera, conociendo su grado de importancia es viable para su ejecución, ya que expone la propuesta del empleo de la metodología de los 7 pasos del control de la calidad e información de la Unidad Minera Ana María en la estandarización los procesos de perforación y voladura en galerías y cruceros que permita obtener resultados óptimos en cuanto a productividad y costos para poder contribuir con los objetivos propuestos por la empresa.

La aplicación de la metodología de los 7 pasos es práctica y sencilla, ya que se requiere del uso adecuado de las herramientas del control de la calidad para identificar, medir y analizar los problemas, para luego plantear alternativas de solución.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Garrido, Alejandro (2007), en su tesis doctoral titulado *Diagnostico y optimización de disparos en desarrollo horizontal Mina el Teniente*, Universidad de Chile, concluye que, “Reducción del número de perforaciones por disparo un 10%, reducción de la sobre excavación de un 24% a un 6%, menor exposición al riesgo por desprendimientos y caídas de rocas, disminución de los tiempos de trabajo y disminución de los costos directos de perforación y tronadura”.

Jáuregui, Oscar (2009), en su tesis *Reducción de los costos operativos en mina mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura*, para optar el título profesional de ingeniero de minas, presentado a la facultad de ciencias e ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, concluye que, “La mayor reducción de costo operativo se obtuvo en la operación unitaria de sostenimiento 0.96 US\$/TM (56% de la reducción total), seguido por la perforación 0.37 US\$/TM (21.76% de la reducción total), voladura 0.28 US\$/TM (16.47% de la reducción total) y la limpieza-acarreo 0.09 US\$/TM (5.3% de la reducción total)”.

Orizano, Ciro (2010), en su tesis *Estandarización de mallas de perforación en la mina Animón de la Empresa Administradora Chungar S.A.C.*, para optar el título profesional de ingeniero de minas, presentado a la facultad de ingeniería de minas, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco. Perú, concluye que, “Con la implementación de la estandarización de mallas de perforación, se llegó a superar los problemas constantes como la sobre-excavación y la dilución de la actividad fundamental llamada perforación y el empleo de dichas mallas de perforación de acuerdo al método de explotación planeado”.

Zapata, Mónica (2002), en su tesis *Control de costos de una operación minera mediante el método del resultado operativo*, para optar el título profesional de ingeniero de minas, presentado a la facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, concluye que, “El resultado operativo nos permite saber si estamos adelantados o atrasados respecto al tiempo, evaluar si estamos ganando o perdiendo y porque, el método del resultado operativo es una herramienta de control que nos permite identificar y evaluar los costos operativos en los procesos productivos”.

Apaza, Dante (2013), en su tesis *Mejoramiento del avance lineal en labores de desarrollo- Contratista IESA S.A. U.M. Arcata*, para optar el título profesional de ingeniero de minas, presentado a la Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, concluye que, “Con el diseño de malla de perforación y voladura calculada, empleando el método de Holmberg y su aplicación en los labores de desarrollo de la mina Arcata, se obtuvieron avance que fluctúan alrededor de 3.0 m”.

2.2. Bases teóricas

Se han evaluado investigaciones semejantes a lo que venimos estudiando, tanto para la perforación y voladura como estudios semejantes en la aplicación de la metodología de los 7 pasos del control de calidad para la estandarización, que nos han permitido comprender las variables de análisis.

2.2.1. Estandarización

2.2.1.1. Historia de la estandarización

Los estándares hacen que la vida sea más simple, permitiendo mayor fiabilidad y efectividad en los bienes y servicios que usamos.

A principios de siglo XIX Europa vivía en un estado de agitación; los efectos de la revolución industrial se hacían evidentes en cualquier parte del continente. La revolución de la transportación dio inicio a la aparición de la máquina de vapor y el ferrocarril. Los rieles por los que los trenes se desplazaban fue el primer problema de estandarización entre los países; estos tenían que ponerse de acuerdo en las dimensiones, material y las demás características de las vías por donde pasaría el tren. Tal situación de entendimiento fue la ideal para la introducción del telégrafo. Al ponerse en funcionamiento este nuevo medio de comunicación, inmediatamente se hicieron evidencias sus beneficios al acercar aún más a las empresas e industrias que existían en este tiempo y quienes tenían una imperiosa necesidad de difundir noticias y mensajes de manera rápida y eficiente. Tanto el ferrocarril como el telégrafo transformaron de manera notable a la Europa del siglo XIX. Con el propósito de buscar una estructura y un método de funcionamiento que permitieran conocer los problemas planteados por las nuevas tecnologías de comunicación, así como también las demandas de los usuarios, en 1865 se fundó la Unión Internacional de Telegrafía (ITU, por sus siglas en inglés). La ITU fue la primera organización intergubernamental e internacional que se creó. Sin lugar a duda, la ITU fue el primer esfuerzo para estandarizar las comunicaciones en varios países.

2.2.1.2. Definición de estandarización

Es el desarrollo sistemático, aplicación y actualización de patrones, medidas uniformes y especificaciones para procesos, materiales, productos o marcas. No es un proceso nuevo, ha existido desde hace mucho tiempo y constituye un método excelente para controlar los costos de materiales de procesos (<http://www.estandarización-de-procesos.com>).

La estandarización es la herramienta que permite definir un criterio óptimo y único en la ejecución de una determinada tarea u operación (www.definiciónabc.com/general/estandarización.php).

Un estándar, son acuerdos documentados que contienen especificaciones técnicas u otros criterios precisos para ser usados consistentemente como reglas, guías o definiciones de características para asegurar que los materiales, productos, procesos y servicios cumplan con su propósito (<http://www.iso.org>).

El trabajo estándar tiene su fundamento en la excelencia operacional. Sin el trabajo estandarizado, no se puede garantizar que, las operaciones necesarias para la obtención de los productos, se realicen siempre de la misma forma. La estandarización permite la eliminación de la variabilidad de procesos.

Al estandarizar los procesos se establece la línea base para evaluar y administrar los procesos y evaluar su desempeño lo cual será el fundamento de las mejoras.

2.2.1.3. Objetivos de la estandarización

- Estandarizar los procesos principales de la empresa, logrando un comportamiento estable que genere productos y servicios con calidad homogénea y bajos costos.
- Garantizar que los procesos que se desarrollan en una organización, se han ejecutadas de una manera uniforme por todos los involucrados en él.
- Proporcionar instrucciones precisas para la ejecución de tareas.
- Establecer un punto de partida para las actividades de mejora continua.

2.2.1.4. Importancia de la estandarización

Un proceso que mantiene las mismas condiciones produce los mismos resultados. Por tanto, si se desea obtener resultados consistentes es necesario estandarizar las condiciones de trabajo incluyendo:

- Materiales, maquinaria, equipo.
- Métodos y procedimientos de trabajo.
- Conocimiento y habilidad de la gente.

Lo importante es llevar a cabo el proceso de estandarización de una manera adecuada y sencilla de acuerdo a las necesidades de la empresa. El modelo del proceso de toma de decisiones estandarizado (ver Figura 1).

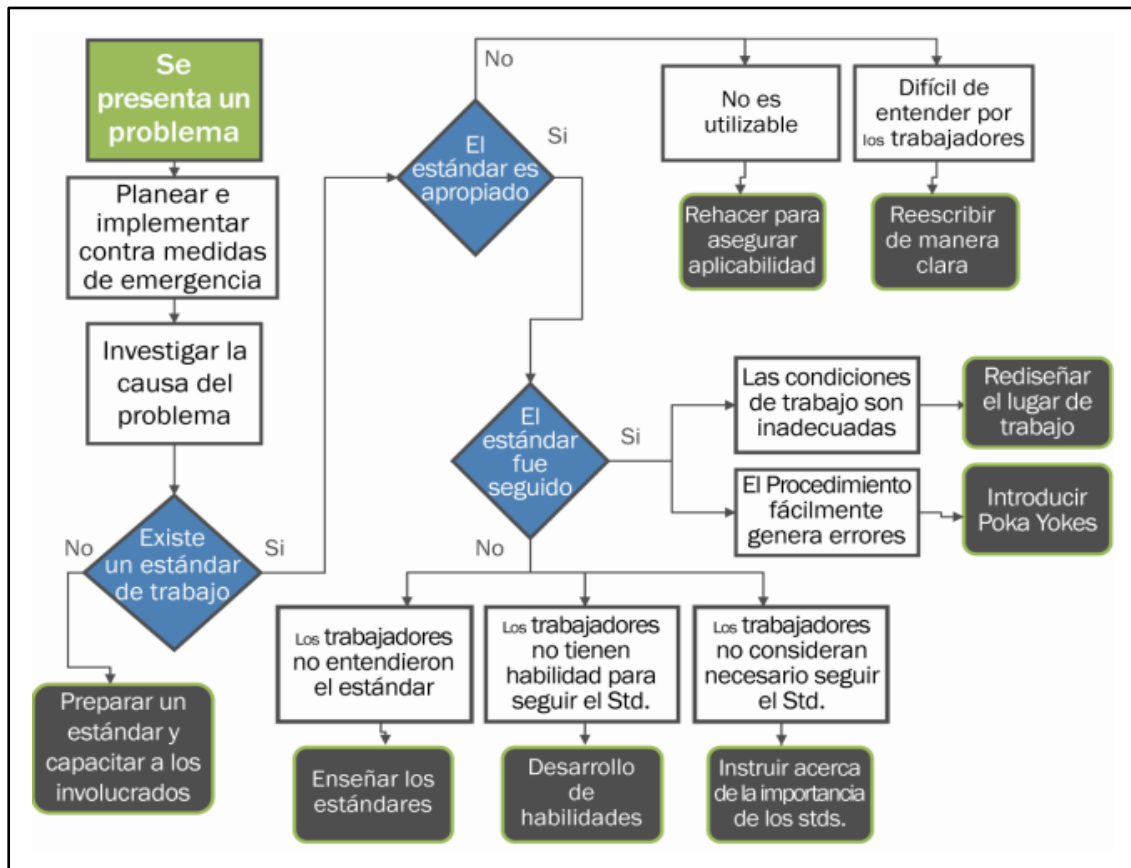


Figura 1: Diagrama del proceso de toma de decisiones estandarizado.

Fuente: <http://www.estandarización-de-procesos.com>.

2.2.1.5. Beneficios de la estandarización

- Es la mejor forma de preservar el conocimiento y la experiencia (recopila los métodos de trabajo de los operarios más expertos y los hace extensivos a toda la planta; se mejorara la productividad).
- Acelera el proceso de aprendizaje del personal de nueva incorporación.
- Proveen una forma de medir el desempeño.
- Muestran la relación entre causas (acciones) y efecto (resultado).
- Suministran una base para el mantenimiento y mejoramiento de la forma de hacer el trabajo.
- Establece una base documentada del conocimiento operativo de la empresa, que será el pilar de futuras mejoras.
- Proveen una base para diagnóstico y auditoria.
- Proveen medios para prevenir la recurrencia de errores que afecten a la calidad del producto y a la seguridad de las personas (minimizan la variación).
- La estandarización es la base para la mejora continua.

- Mejora la detección de los problemas y los desperdicios.
- Las empresas que tiene definidos estándares de trabajo, consiguen mejoras continuas en la productividad y en la calidad. Además crean una base documentada del conocimiento que facilita procesos de aprendizaje ágiles y efectivos.
- La incorporación de una metodología optimizada de trabajo y su cumplimiento produce un efecto motivador y de incremento de la disciplina.

2.2.1.6. Herramientas para estandarizar actividades

Las herramientas deben ser sencillas y fáciles de entender, y pueden ser:

- Diagramas, fotos, formatos, *check list*, procedimientos, etc.
- En ocasiones es conveniente formalizar los estándares con información como:
 - Quién lo elaboró.
 - Quién lo aprobó.
 - Número de versión.
 - Fecha a partir de la cual entra en vigencia el documento.
- Igualmente, hay que definir:
 1. Objetivo.
 2. Restricciones.
 3. Actividades básicas para realizar el trabajo.

2.2.1.7. Pasos para la estandarización

1. Involucrar al personal operativo.
2. Investigar y determinar la mejor forma para alcanzar el objetivo del proceso.
3. Documentar con fotos, diagramas, descripción breve.
4. Capacitar y adiestrar al personal.
5. Implementar formalmente el estándar.
6. Checar los resultados.
7. Si el resultado se apega al estándar, continuar la implementación, si no, analizar la brecha y tomar acción correctiva.

2.2.1.8. Elaboración de estándares de trabajo según DS-055-2010-EM

En el artículo 88, inciso g, se indica el desarrollo y/o ejecución de Estándares y Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro (PETS) de acuerdo al ANEXO N° 15-A y 15-B respectivamente.

Las empresas mineras implementan sus estándares generales y operativos de acuerdo al Anexo 15-A del DS-055-2010-EM (ver Figura 2).

LOGO EMPRESA	NOMBRE DEL ESTÁNDAR		UNIDAD MINERA
	Código:	Versión:	
	Fecha de elaboración:	Página:	
1. Objetivos 2. Alcance 3. Referencias legales y otras normas 4. Especificaciones del estándar 5. Responsables 6. Registros, controles y documentación 7. Frecuencia de inspecciones 8. Equipo de trabajo 9. Revisión y mejoramiento continuo 10. Anexos de diseños			
Elaborado por:	Revisado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:

Figura 2: Formato para la elaboración de estándares.
 Fuente: Anexo N° 15-A del DS-055-2010.

2.2.2. Metodología de los 7 pasos del control de la calidad

Es una metodología para solucionar problemas en forma racional (porque hace uso del análisis, la comparación y decisión), científica (porque está respaldada por la ciencia estadística) y efectiva (porque es un método eficaz y eficiente), logra los objetivos y hace uso óptimo de los recursos (<http://www.métodos-de-mejora-continua.org>).

La metodología de los 7 pasos, se concentra el esfuerzo en ámbitos organizativos y de procedimientos puntuales y consiguen mejoras en un corto plazo y resultados visibles, haciendo posible la reducción de productos defectuosos, que trae como consecuencia una reducción en los costos, como resultado de un consumo menor de materias primas, permite incrementar la productividad y dirige a la organización hacia la competitividad, lo cual es de vital importancia para las actuales organizaciones (Urzúa, 2004).

La esencia del acercamiento reactivo es la estandarización de las soluciones a los problemas de los procesos, usando, por ejemplo, el método de los 7 pasos y las siete herramientas. La mejora reactiva como una práctica de estandarizar se hizo común en 1970 como un proceso usado por los círculos de calidad en Japón (Ferrada, 2003).

El desarrollo de la metodología de los 7 pasos de la mejora continua, para la estandarización de las soluciones a los problemas, es un proceso secuencial, que consiste en etapas definidas (ver Figura 3).

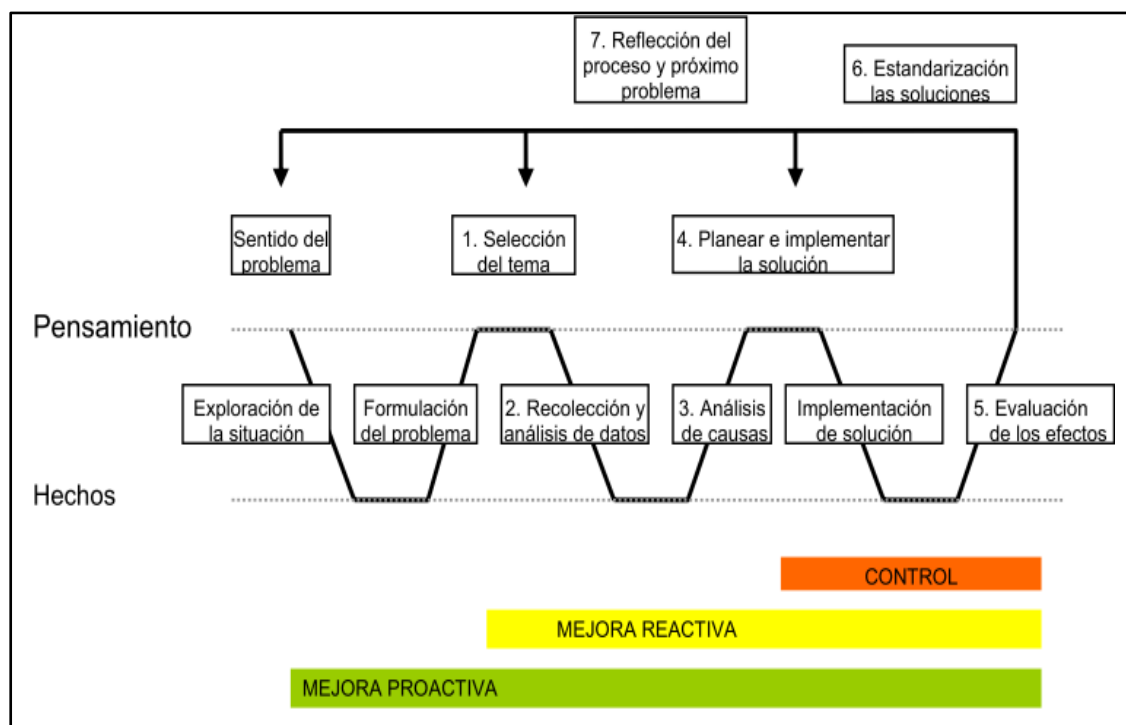


Figura 3: Diagrama del modelo de la metodología de los 7 pasos
Fuente: Adaptación de Shiba et al, 1993.

2.2.2.1. Antecedentes de la aplicación de la metodología de los 7 pasos

1. Círculo de Mejora Continua “PERVOL”. (2000). Informe. *Estandarizar el uso de los recursos de perforación y voladura en labores mineras*. Compañía Minera Poderosa S.A., menciona que, el proyecto del equipo “PERVOL” se crea por la necesidad de mejorar la satisfacción del cliente externo e interno en base a criterios de calidad, seguridad y medio ambiente. Por la naturaleza del rubro Compañía Minera Poderosa S.A. es una empresa que realiza actividades operativas críticas asociado a sus procesos, actualmente hay uso irracional de las materias primas en los procesos de perforación y voladura. Este proyecto se desarrolla, bajo el enfoque de la gestión de la calidad en su modalidad japonesa, la metodología de los 7 pasos. Los 7 pasos, contribuyen a la obtención de resultados favorables, puesto que en su desarrollo sistemático, hace énfasis en el análisis integral, flexible y participativo, que nos permite identificar cabalmente las causas y proporciona la pauta para la mejora sostenible que se traduce en acciones eficientes y eficaces.

Resultados:

Una operación minera tiene un impacto inevitable en el medio ambiente, con la aplicación del estudio se logra:

- Menor roca removido por control en sobre rotura.
- Menor emanación de gases por menor uso de explosivos.
- Menor evacuación de aceites por reducción de pies perforados.
- Menor uso de madera por control de voladura.

2. Círculo de Mejora Continua “GEOPERVOL”. (2003). Informe. *Incidencia de la geomecancia en los procesos de perforación y voladura en labores mineras subterráneas*. Compañía Minera Poderosa S.A., menciona que, el Área de Mina de la Compañía. Minera Poderosa S.A., a través de su Departamento de Geomecánica y del Círculo de Mejoramiento Continuo “GEOPERVOL”, viene dando un fuerte impulso a la implementación de la geomecánica como herramienta de ingeniería, en las principales actividades unitarias de minado como son la perforación, voladura y sostenimiento. El proyecto que se viene desarrollando está destinado básicamente al control de pérdidas por desprendimiento de rocas, dotándolas de un contexto funcional para analizar sus fuentes y mejorar la productividad, el mismo que requiere de un enfoque con parámetros cualitativos y cuantitativos del macizo rocoso en nuestras operaciones mineras. El proyecto de mejora que se describe en el presente trabajo se viene desarrollando bajo el enfoque de la calidad total, según modelo japonés, denominado “La ruta de la calidad o metodología de los 7 pasos” que: analiza, evalúa, traza objetivos, plantea estrategias, ejecuta contramedidas, define lineamientos de control y realiza seguimiento para lograr de manera sostenida, acciones que demuestran eficiencia y eficacia y en los que el uso óptimo de los recursos que intervienen: mano de obra, materiales, máquinas, métodos, son la clave para el logro de la calidad.

Resultados:

- La implementación de los planos geomecánicos tiene mucha importancia debido a que dicha información nos permitirá un conocimiento integral de los parámetros del macizo rocoso,, siendo una herramienta que nos permite determinar un sostenimiento adecuado y oportuno.
- Las excavaciones subterráneas dentro de nuestras operaciones mineras representan uno de los mayores presupuestos en relación con otras obras de ingeniería. Por tanto, es de gran importancia obtener información geomecánica útil para los fines de diseño de perforación, voladura y sostenimiento.

- En perforación, se obtuvo una reducción de 1.03 US\$/TM.
- En voladura, se obtuvo una reducción de 1.54 US\$/TM.
- En sostenimiento, el costo se incrementó en 0.94 US\$/TM.

3. Círculo de Mejora Continua “CLMC Los Alquimistas”. (2003). Informe. *Incrementar la recuperación de oro en el proceso de fundición mediante el control de defectos en el manipuleo del precipitado en el cono mezclador*. Postulación al reconocimiento a la gestión de proyectos de mejora. Compañía. Minera Poderosa S.A., menciona que, como parte de su política de Implementación de la Gestión de Calidad Total mediante los Círculos de Mejoramiento Continuo, formado por pequeños grupos de personas con labores afines, vienen desarrollando en el ámbito de toda la empresa diversos proyectos sobre eliminación de defectos, reducción de costos y mejoras de procesos. Es así como el Área de Planta de Cianuración, ha emprendido un programa de identificación de oportunidades para la eliminación de defectos en sus procesos, uno de los procesos seleccionados es el de refinería Victoria en su actividad de fundición de precipitado de oro, el cual procesa el precipitado obtenido en el proceso *Merril Crowe*. El presente trabajo se denomina “Incrementar la recuperación de oro en el proceso de fundición mediante el control de defectos en el manipuleo del precipitado en el cono mezclador”. El objetivo del proyecto es “Disminuir las mermas de oro, en el transvase de precipitado seco de las bandejas al cono mezclador y durante la operación de este equipo, con la implementación de una cápsula al sistema bandejas-precipitado-cono mezclador y adicionándole una aspiradora para captar los polvos atrapados dentro de la cápsula; estableciendo procedimientos de operación estandarizados”. El procedimiento seguido para la realización y cumplimiento del objetivo de este proyecto se ha basado en la “Fórmula de los 7 pasos” para la solución de problemas, que es una derivación de “Ciclo de mejora PHVA”.

Resultados:

- El contenido de humedad influye en las pérdidas de oro durante la manipulación del precipitado, a humedades relativamente bajas (menores al 1%) las pérdidas son mayores, sin embargo este problema ha sido solucionado encapsulando el sistema de manipuleo de precipitado en el cono mezclador e incrementando el % de humedad, eliminando de esta manera las pérdidas de oro.

- Para el periodo Octubre 2002 a Mayo 2003 tenemos un beneficio acumulado de 80,900 US\$

2.2.2.2. Beneficios que aporta la metodología de los 7 pasos del control de calidad

a) Solución de problemas

- Permite que los problemas se solucionen de una forma más racional, científica y efectiva que cualquier otro método.
- Eleva las habilidades de formular y solucionar problemas de las personas y hace que todos cumplan un rol importante en su lugar de trabajo.
- Permite que las personas adquieran el punto de vista de la calidad a través de la solución de problemas.
- Hace posible que las personas se vuelvan competentes en la aplicación de las herramientas estadísticas y permite que se domine el método científico.

b) Logro de objetivos

- Da beneficios tangibles, principalmente de calidad, pero también en términos de costos, entrega, seguridad, moral, ventas, etc.
- Mejora las prácticas de trabajo y eleva los estándares administrativos.
- Estimula las actividades de liderazgo y administración de los líderes en el lugar de trabajo.
- Promueve el crecimiento individual de los miembros del lugar de trabajo.
- Mejora la comunicación y moral del lugar de trabajo y crea lugares de trabajos alegres y efectivos.

2.2.2.3. Herramientas de calidad como parte de la metodología de los 7 pasos

Las herramientas de calidad tales como diagrama de Pareto, gráficos de control, diagrama de interrelaciones, hojas de verificación, y diagrama de causa y efecto, histogramas y otras más, son claves para el desarrollo exitoso de esta metodología (<http://es.slideshare.net/métodos-de-mejora-continua>).

Finalmente los beneficios para nosotros son:

- Mejora en el liderazgo y trabajo en equipo.
- Establecimiento de una mente de calidad.
- Mejora en la habilidad para analizar y proponer soluciones.
- Mejora en la habilidad de usar las herramientas de calidad.
- Mejora la autoestima.

La contribución a la empresa en la mejora de procesos, productos y servicios, empleando el ciclo de mejora PHVA derivado, que proporciona una guía básica para la gestión de las actividades y procesos, y es aplicable a cualquier industria y organización (ver Figura 4).

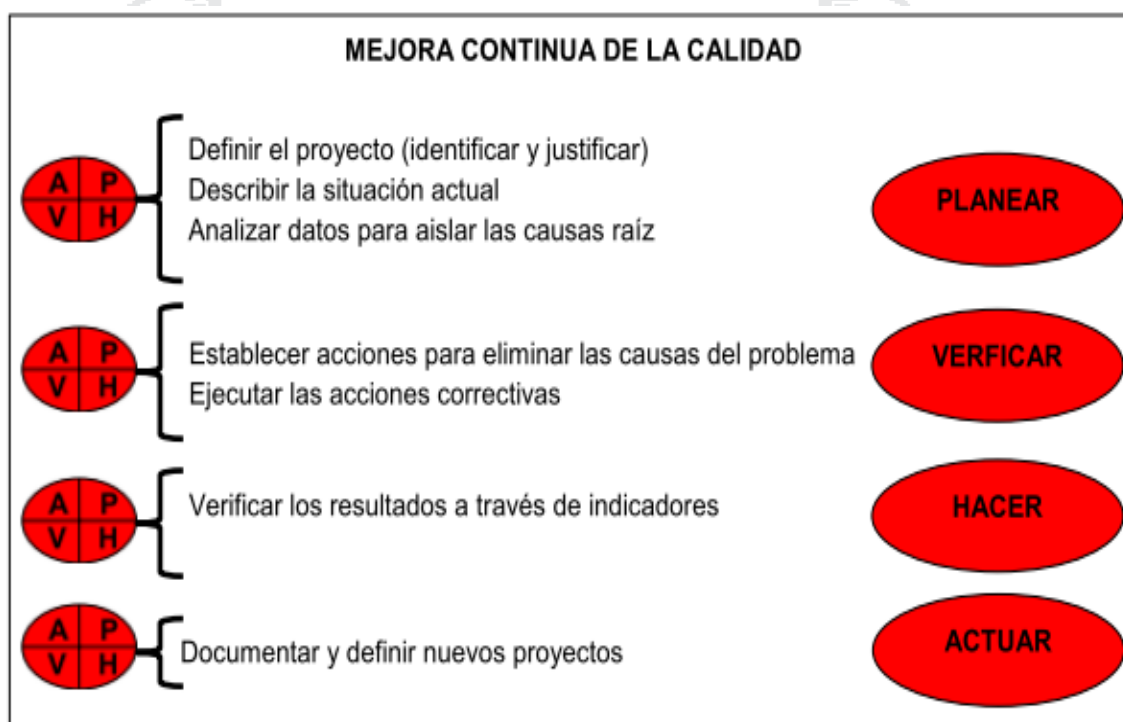


Figura 4: Esquema del ciclo de mejora PHVA derivado.
 Fuente: <http://www.slideshare.net/guest595683/mejoramiento-continuo-fus>.

2.2.2.4. Pasos para el desarrollo de la metodología de los 7 pasos

De acuerdo al manual de mejora continua – Compañía Minera Poderosa S.A. 2000, el desarrollo de la metodología de los 7 pasos consiste en:

Primer paso: Seleccionar el problema y definir el tema

Etapa I: Búsqueda de problemas

- Revisar la misión, visión, hitos, políticas y objetivos corporativos.

- Revisar los temas estratégicos, iniciativas estratégicas e iniciativas operacionales correspondientes a los planes de negocio y los planes de las áreas funcionales.
- Escuchar la voz de los clientes internos y externos. Esto se expresa en las quejas, devoluciones, nivel de satisfacción.
- Comparar con compañías excelentes los niveles alcanzados por estas y los de la empresa.
- Estudiar el sistema, proceso o procedimiento.

Etapa II: Identificar y organizar los problemas

En la identificación de un problema lo más importante es no confundirlo con una causa, porque un problema puede tener varias causas y al atacar una sola causa no estamos garantizando la solución del problema, las herramientas recomendadas son: (lluvia de ideas, diagrama de Pareto, diagrama de afinidad).

Etapa III: Evaluar los problemas y seleccionar uno

Algunas veces los miembros del equipo pueden decidir fácilmente en que problema trabajarán a través de la discusión. En otros casos los miembros del equipo deberán utilizar el “Gráfico de evaluación de problemas” en el cual en base a criterios comunes el equipo de mejoramiento elegirá un problema.

Etapa IV: Definir el tema

Elegido el problema, la siguiente acción es la definición del tema. Un tema es un problema redefinido en términos que expresen acciones específicas, con un objetivo determinado que establezca dónde tendrá lugar la mejora.

Segundo paso: Comprender la situación actual y establecer el objetivo

El segundo paso consiste en comprender e investigar la situación actual de acuerdo al tema seleccionado y establecer el objetivo.

Etapa I: Decidir el ítem de control

El ítem de control es el criterio que mida o juzga el desempeño de un proceso. En esta etapa se tienen que decidir el ítem de control que se va a utilizar. Este también será usado más adelante para medir que tan efectivas han sido las contramedidas.

Etapa II: Comprender la situación

Esta etapa tiene por finalidad entender como estén las cosas ahora y como fueron en el pasado. En esta etapa se investiga cómo han cambiado los ítems de control con el tiempo.

En la comprensión de la situación se debe tener en cuenta:

- Revisar los datos anteriores en los ítems de control y la recolección de nuevos datos para asegurar que el problema puede ser expresado numéricamente.
- Investigar el flujo de trabajo (utilice los símbolos para gráfico de procesos).
- Examinar la situación en un periodo de tiempo y encontrar que tipo de cambio han ocurrido.
- Descomponer los problemas estratificando los datos (por lugar, persona, máquina, métodos, etc.).

Etapa: Definir el objetivo y el límite de tiempo para su logro

Un objetivo indica el nivel de mejora que se quiere lograr en el ítem de control. Para establecer la fecha de término se debe considerar que un tema estará concluido cuando se han implementado las contramedidas, estandarizando los métodos y asegurado el mantenimiento de los beneficios (estandarización y control).

Tercer paso: Planear actividades

Etapa I: Decidir las actividades

En esta etapa se deciden las actividades a realizar, de acuerdo con la fórmula de los 7 pasos del control de calidad.

Etapa II: Decidir el cronograma de actividades

Los miembros del equipo deberán discutir cuando comenzara cada actividad y cuando se terminará.

Etapa III: Elaborar un plan de actividades

Bosquejar un plan de actividades en forma de un gráfico de barras en que se deberá incluir la acción a realizar, el responsable, el periodo de ejecución y como se realizará.

Para tener en cuenta:

- Al momento de iniciar el proyecto de mejoramiento, el equipo deberá plantear el periodo estimado en que se realizarán los dos primeros pasos (seleccionar el problema y comprender la situación) así como la definición de los responsables de su ejecución.
- La asignación de un responsable para cada paso es con la finalidad de asegurar que todos participen completamente y se involucren en el problema.
- El líder debe coordinar con el responsable de cada paso a fin de asegurar que se cumplan los objetivos de cada uno de ellos.

Cuarto paso: Analizar las causas

Definidos los objetivos y trazado el plan de actividades, la siguiente acción es analizar las causas.

Este es el paso más importante de la metodología. Si no se identifica claramente las causas probablemente se pierdan el tiempo y el dinero tratando de utilizar planteamientos inefectivos al momento de considerar de implementar las contramedidas.

Analizar las causas significa utilizar herramientas estadísticas para investigar la relación entre las causas y las características de calidad y precisar los factores que estén afectando las características. Aquí “causas” significa los factores principales que estén creando problemas y aquellas causas probables que parecen influenciar en los resultados del proceso.

Etapa I: Resumir la relación entre las probables causas y la característica de calidad en un diagrama de causas y efecto

Examinar todas las posibles causas ingresadas en el diagrama de causa y efecto, teniendo como base el conocimiento técnico y la experiencia y escoger aquellas que se considera tienen un efecto particularmente importante sobre la característica de calidad.

La herramienta recomendada es el diagrama de causa efecto.

Etapa II: Analizar las relaciones entre las causas y características de calidad utilizando las herramientas de control

En esta etapa se examinan las que se han considerado las causas más importantes en el diagrama de causa y efecto para encontrar qué relación tiene con las características de calidad y definir cuáles son las más influyentes, las herramientas utilizadas son: gráficos de control, diagrama de dispersión, gráficos estratificados, histogramas, etc.

Etapa III: Resumir los resultados del análisis

Luego de haber encontrado en forma estadística la relación entre las causas y las características de calidad, escribir las conclusiones con las consideraciones técnicas del caso.

Etapa IV: Decidir que causas enfrentar

Una vez encontradas las relaciones existentes entre las causas y las características de calidad así como las consideraciones técnicas que explican esto, se tiene un mejor panorama de la situación y se decide por las causas a las cuales deben ser dirigidas las contramedidas.

Quinto paso: Considerar e implementar las contramedidas

El quinto paso consiste en idear contramedidas para eliminar las causas raíces señaladas en el anterior paso y ponerlas en práctica.

Etapa I: Proponer ideas para contramedidas

Esta etapa consiste en proponer todas las posibles contramedidas que se puedan idear. Se deberá tener presente:

- Considerar el problema desde todos los ángulos.
- Recolectar ideas de los superiores y de las personas responsables de proceso anterior y el proceso siguiente.
- No juzgar las ideas en la etapa de creación.

Los métodos a emplear son:

- Lluvia de ideas.
- Estrategias de generación de ideas.

Etapa II: Seleccionar propuestas de contramedidas

Esta etapa consiste en evaluar las propuestas de contramedidas y seleccionar aquellas que parezcan factibles y con beneficio económico.

Etapa III: Discutir cómo poner en prácticas las contramedidas

Seleccionada las contramedidas, la siguiente etapa es considerar es como implementarlas.

Utilizar la metodología de las 5Ws y 1H es una buena forma de realizar los planes de contramedidas. En esta etapa se debe reportar a los superiores y recibir su aprobación (ver Cuadro 1).

Cuadro 1: Regla práctica para ejecutar contramedidas

Técnica del 5W y 1H		Preguntarse
¿Qué? ¿What?	¿Qué? necesidad	¿Qué contramedida voy a tomar?
¿Por qué? ¿Why?	¿Por qué? propósito	¿Por qué es necesario hacerlo?
¿Quién? ¿Who?	¿Quién? responsable	¿Quién lo va a hacer?
¿Cómo? ¿How?	¿Cómo? actividades a ejecutar	¿Cómo se va a llevar a cabo la contramedida que actividades hay que hacer?
¿Dónde? ¿Where?	¿Dónde? lugar	¿Dónde se va a hacer esta contramedida?
¿Cuándo? ¿When?	¿Cuándo? etapa del proceso	¿Cuándo se va a llevar a cabo la actividad, en qué etapa del proceso?

Fuente: Manual de Mejora Continua - Cía Minera Poderosa S.A. 2000.

Etapa IV: Implementar las contramedidas

Esta etapa consiste en poner en práctica las contramedidas propuestas las cuales pueden ser llevadas a cabo a través de estándares provisionales y/o pruebas piloto. Deben de tenerse presente los ítems de control a ser evaluados y prepararse los estándares provisionales propuestos e implementar las contramedidas de acuerdo a esos estándares.

Sexto paso: Verificar los resultados

El sexto paso consiste en verificar los resultados alcanzados luego de ser implementadas las contramedidas y encontrar cómo han cambiado los ítems de control que se estén evaluando.

Los resultados deberán ser medidos en términos numéricos y ser comparados con los valores de los objetivos trazados, utilizando las herramientas estadísticas para ver si se han logrado o no las mejoras previstas.

Se deben comparar los costos incurridos con los beneficios obtenidos y verificar si se han producido o no efectos colaterales (influencias adversas en otras características o procesos previos o siguientes).

Los resultados alcanzados dan satisfacción al equipo, estimula su autoestima y los habilita para experimentar el sentido de crecimiento personal y realización y el placer de contribuir con la empresa.

Etapa I: Verificar los resultados de las mejoras

Verificar los efectos de las mejoras recolectando datos de los resultados de las contramedidas, con la finalidad de identificar los beneficios obtenidos y analizarlos, utilizando las herramientas estadísticas, las herramientas recomendadas son: gráficas de control, histograma, hojas de verificación.

Etapa II: Comparar los resultados con los objetivos trazados

Comparar los resultados de las contramedidas con los objetivos trazados e identificar el grado en el cual se alcanzaron. Si el grado de alcance de los objetivos es insuficiente, regrese a los pasos 4 y 5 a fin de identificar las causas principales o implementar otras contramedidas.

Etapa III: Identificar los beneficios

Identifique los beneficios tangibles e intangibles obtenidos de las mejoras. Esto proporciona un criterio para evaluar los resultados.

Sétimo paso: Estandarizar y establecer el control

Las contramedidas que son aceptadas como efectivas son estandarizadas e incluidas en los documentos de las áreas.

Las gráficas de control, se utilizan para verificar si la mejora está manteniendo y asegura que se continuará obteniendo los resultados alcanzados.

Para esto todos los trabajadores deben estar completamente al tanto de los nuevos estándares y se debe proporcionar educación y entrenamiento para acostumbrarlos a las nuevas formas de trabajo.

Etapa I: Formalizar los estándares provisionales

Una vez demostrada la validez de los estándares provisionales presentados en el quinto paso, estos son ratificados y formalizados en los documentos que maneja el área. Cuando se hace esto debemos tener presente que se debe conseguir de acuerdo de las áreas involucradas si fuera necesario.

Etapa II: Decidir el método de control

Se debe revisar en forma periódica si se estén manteniendo o no los beneficios de las mejoras y si la mejora esté continuando.

Establecer los gráficos de control de procesos y si descubrimos un proceso anormal, debemos hacer algo sobre el proceso o producto tan pronto como sea posible. Al mismo tiempo debemos localizar las causas de anomalías y tomar acciones para prevenir la recurrencia.

Etapa III: Dar a conocer los métodos de control correctos a todas las personas involucradas

Realizar reuniones especiales para explicar los métodos de control, a fin de asegurar que todos los involucrados estén familiarizados con ellos.

Etapa IV: Educar y entrenar a todos los responsables en los nuevos métodos

No se puede esperar que el trabajo se haga de acuerdo a los procedimientos, si no se hace nada más que entregárselos a los trabajadores y decirles que trabajen con ellos. Algunos trabajadores no los leerán y otros no los comprenderán.

Los líderes deben guiar a los subordinados y darles una cuidadosa educación y entrenamiento sobre las metas y la importancia de cumplirlos.

Etapa V: Verificar si se mantienen los beneficios

Tenemos que verificar si se estén siguiendo los nuevos estándares y si se estén manteniendo los beneficios de las mejoras.

Las herramientas estadísticas tales como gráficos, hojas de verificación y gráficos de control son utilizados para esto.

2.2.3. Perforación de rocas

La perforación es una acción de agujerear una roca. Ya sea que se realice a mano o con una máquina, se basa en el mismo principio, que consiste en el uso de un barreno con punta cortante que al ser golpeado en el otro extremo y girado en forma alternativa entre cada golpe, origina cortes en la roca en diferentes posiciones. El resultado será la perforación de un taladro con diámetro igual al diámetro máximo de la punta cortante. (López, 1997).

2.2.3.1. Condiciones de perforación

Para conseguir una voladura eficiente la perforadora es tan importante como la selección del explosivo, por lo que éste trabajo debe efectuarse con buen criterio y cuidado, lamentablemente la supervisión de la correcta operación de perforación aun no es controlada adecuadamente en muchas minas, lo que permite que ocurran deficiencias en la calidad de trabajo como son los taladro desviados, más espaciados, de longitud irregular etc., que determinan pérdidas de eficiencia de la energía explosiva disponible (Cetemin, 2009).

Normalmente la calidad de los taladros a ser perforados está determinada por cuatro condiciones: diámetro, longitud, rectitud y estabilidad:

a) Diámetro

Depende del tipo de aplicación en que el taladro será utilizado como regla general el de “menor diámetro factible” será más adecuada y económica de realizar.

b) Longitud

Influye mucho en la selección de la capacidad del equipo perforador y naturalmente en el avance del disparo (profundidad del taladro).

b) Rectitud

Varía con el tipo de roca método de perforación y características del equipo perforador. Deben tener la mayor rectitud y alineación para que el explosivo sea apropiadamente distribuido en la mayoría de las arranques, de perforación el paralelismo entre taladros es de vital importancia para la interacción de las cargas explosivas en toda la voladura.

c) Estabilidad

Los taladros deben mantenerse abiertos hasta el momento de su empleo. En terrenos sueltos tienden a desmoronarse por lo que puede ser necesario revestirlo interiormente con tubos especiales para, poderlos cargar, también se puede aplicar técnicas de revestimiento mediante arcillas especiales como la bentonita y otros.

2.2.3.2. Propiedades de las rocas que afectan a la perforación**a) Dureza**

Se entiende por dureza la resistencia de una capa superficial a la penetración en ella de otro cuerpo más duro. En una roca es función de la dureza y composición de los granos minerales constituyentes, de la porosidad de la roca, del grado de humeada, etc. La dureza de las rocas es el principal tipo de resistencia a superar durante la perforación, pues cuando se logra la penetración inicial el resto de las acciones se desarrollan fácilmente. Es muy importante tener en cuenta la clasificación de rocas (ver Cuadro 2).

b) Resistencia

Se llama resistencia mecánica de una roca a la propiedad de oponerse a su destrucción bajo una carga exterior, elástica o dinámica. Las rocas oponen una resistencia máxima a la compresión; comúnmente, la resistencia a la tracción no pasa de un 10 a 15% de la resistencia a la compresión.

c) Elasticidad

La mayoría de los minerales constituyentes de las rocas tienen un comportamiento elástico frágil, que obedece a la ley de Hooke, y se destruyen cuando las tensiones superan el límite de elasticidad. Según el carácter de deformación, en función de las tensiones provocadas para cargas estáticas, se consideran tres tipos de rocas.

d) Plasticidad

Como se ha indicado anteriormente, en algunas rocas, la destrucción le precede la deformación plástica. Las rocas reales se deforman consolidándose al mismo tiempo; para el aumento de la deformación plástica es necesario incrementar el esfuerzo. La plasticidad depende de la composición mineral de las rocas y disminuye con el aumento del contenido de cuarzo, feldespato y otros minerales duros.

e) Abrasibilidad

La abrasibilidad es la capacidad de las rocas para desgastar la superficie de contacto de otro cuerpo más duro, en los procesos de rozamiento durante el movimiento. La dureza de los granos contiene granos de cuarzo con sumamente abrasivos. El tamaño de los granos, la porosidad, superficies de contacto rugosas con concentraciones de tensiones locales.

f) Textura

La textura de una roca se refiere a la estructura de los granos de minerales constituyentes de esta. Se manifiesta a través del tamaño de los granos, la forma, la porosidad, etc. Todos estos aspectos tienen una influencia significativa en el rendimiento de la perforación.

g) Estructura

Las propiedades estructurales de los macizos rocosos, tales como esquistosidad, planos de estratificación, juntas diaclasas y fallas, así como el rumbo y el buzamiento de estas afectan a la linealidad de los barrenos, a los rendimientos de perforación y a la estabilidad de las paredes de los taladros.

Cuadro 2: Clasificación de la dureza de roca

Clasificación	Dureza Mohs	Resistencia a la Compresión (MPa)
Muy dura	7	200
Dura	6 a 7	120 a 200
Medio dura	4 a 6	60 a 120
Medio blanda	3 a 5	30 a 60
Blanda	2 a 3	10 a 30
Muy blanda	1 a 2	10

Fuente: Manual de perforación y voladura – López Jimeno 1994.

2.2.3.3. Trazos del arranque

Cuya finalidad espera crear una cara libre teniendo en cuenta que sus taladros se dispondrán preferentemente en forma instantánea, mientras que los taladros de tanda los seguirán secuencialmente (EXSA, 2001).

La representación del esquema de trazo y arranque (ver Figura 5).

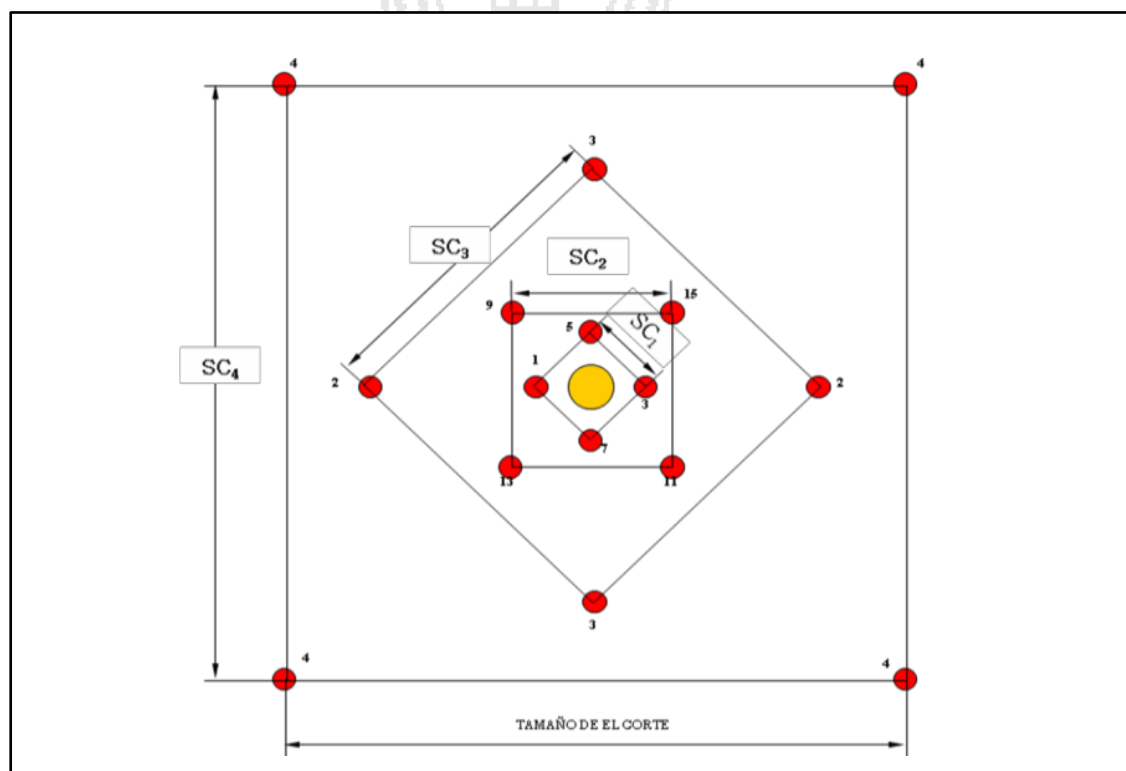


Figura 5: Esquema de trazo y arranque.

Fuente: Manual de voladura – Enaex 2000.

2.2.3.4. Tipos de arranque ó trazo

Hay varios tipos de arranque que reciben diferentes nombres, según su forma o el lugar donde se le ha usado primero, pero todos los tipos de cortes podemos agruparlos en tres (Cetemin, 2009).

Corte ó trazos angulares:

Son taladros que hacen un ángulo con el frente donde se perfora, con el objeto de que al momento de la explosión formen un “cono” de base (cara libre) amplia y de profundidad moderada, dependiendo del tipo de terreno. Entre los cortes angulares tenemos:

- Corte en cuña o en “V”.
- Corte en pirámide.

Corte ó trazos paralelos:

Consiste en tres o más taladros horizontales, que son exactamente paralelos entre sí y paralelo al eje de la galería; cuanto más duro es el terreno, estos taladros deberán estar más cerca uno a otro.

De los taladros que forman el corte, uno o más se dejan sin cargar (taladros de alivio), con el objeto de que dejen un espacio libre que facilite la salida de los otros que están cargados.

De estos taladros de alivio depende mucho el avance que se puede lograr en un solo tiro, es decir a mayor diámetro de taladros de alivio mayor será el avance.

Cortes combinados:

Son la combinación de cortes en “V” y cortes en pirámide. Los variantes del corte “quemado” son: corte escalonada y corte crack.

El que más se emplea en la apertura de frentes, son los cortes en paralelo, del tipo quemado (ver Figura 6).

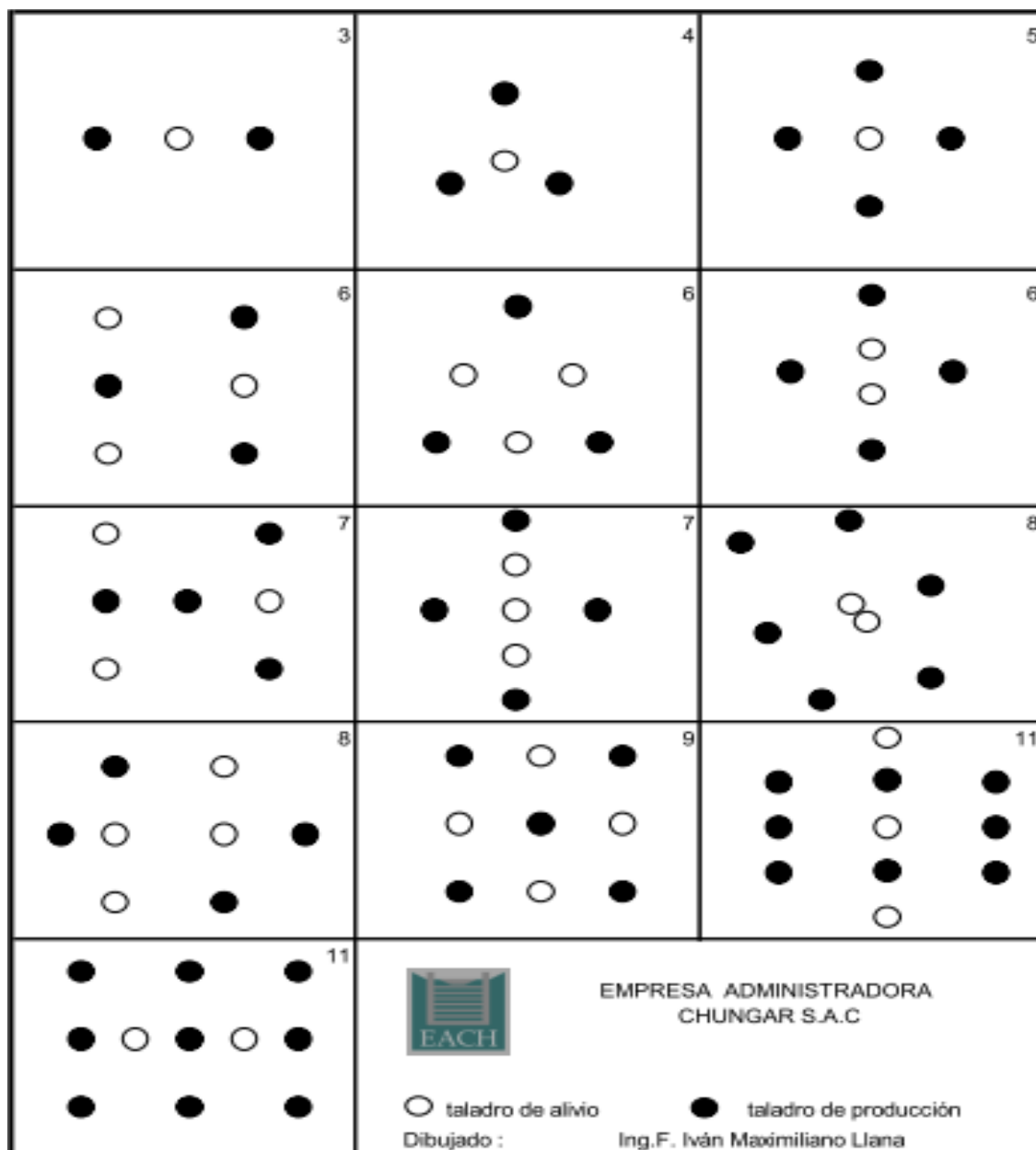


Figura 6: Esquema de trazos de corte quemado para la apertura de un frente
 Fuente: Manual de perforación y voladura – Cía. Minera Volcan S.A.A. 2008.

2.2.3.5. Perforación en malla marcada

¿Qué es una malla de perforación?

Son líneas de pintura cuadrículadas ya pre calculado, que se marca en un frente para guiar al perforista. Cada tipo de roca tiene sus tipos de malla estandarizada con la cual se puede hacer el diseño de la malla, todas las mallas siempre en el techo tienen taladros de alivio para que la labor tenga acabado arqueado para un mejor control del terreno (Volcan, 2008).

Pasos para marcar una malla de perforación:

- Los topógrafos deben darnos una línea de dirección y la línea de gradiente.
- Esas líneas de rumbo y de piso nos permiten avanzar una labor de una sola cara libre, de forma recta y de la dimensión correctas.
- Cuadricular el frente de acuerdo a la sección, gradiente y dirección de la galería.
- Distribuir los taladros marcándolo a partir del centro del frente, esto de acuerdo a la malla de perforación y número de taladros calculados previamente.

El marcado y cuadrulado de un frente estándar, permite controlar la simetría, paralelismo y profundidad de perforación (ver Figura 7 y Figura 8).

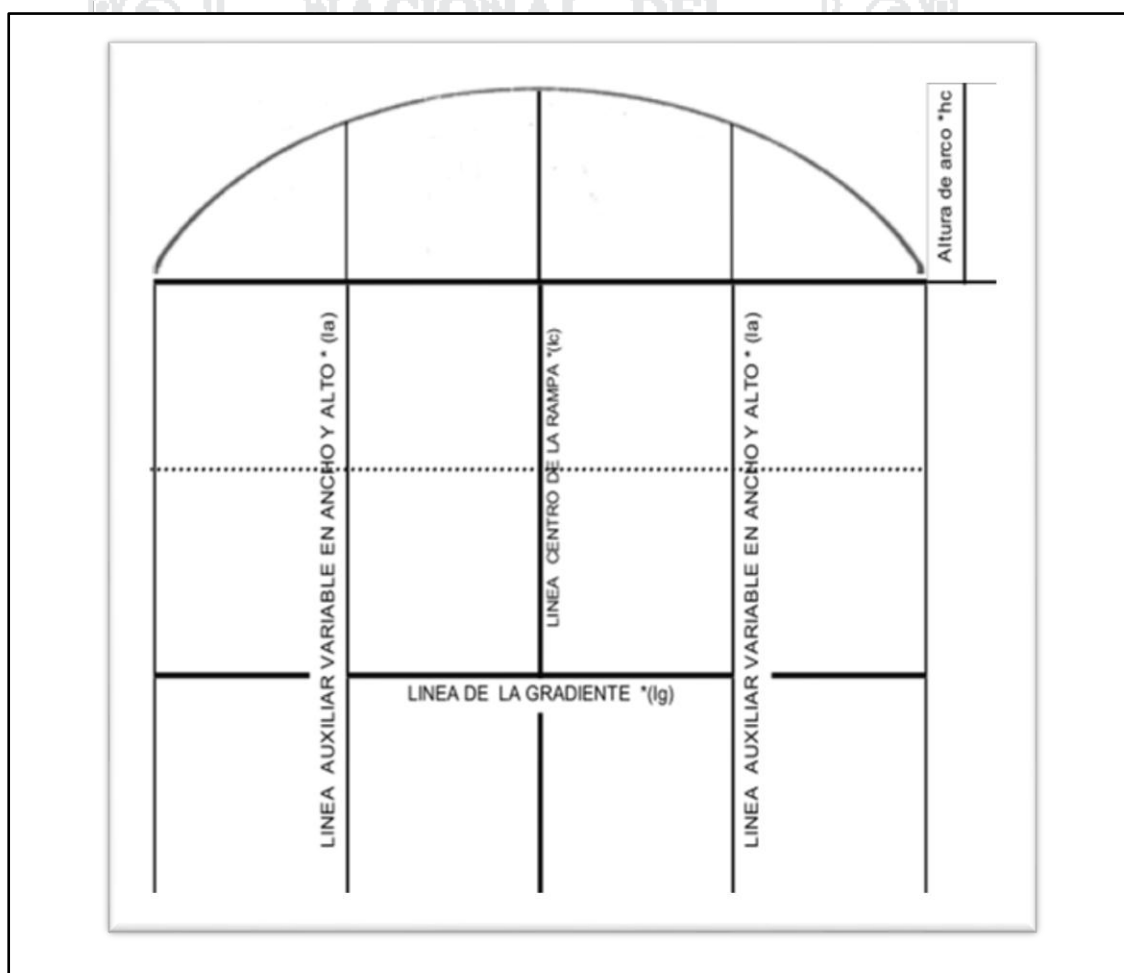


Figura 7: Esquema del marcado de un frente estándar

Fuente: Manual de perforación y voladura – Cía. Minera Volcan S.A.A. 2008.

El método de implementación de cuadrícula malla en el frente de perforación, reduce sustancialmente el tiempo de perforación, como también en el carguío, ganando tiempo para las demás actividades.

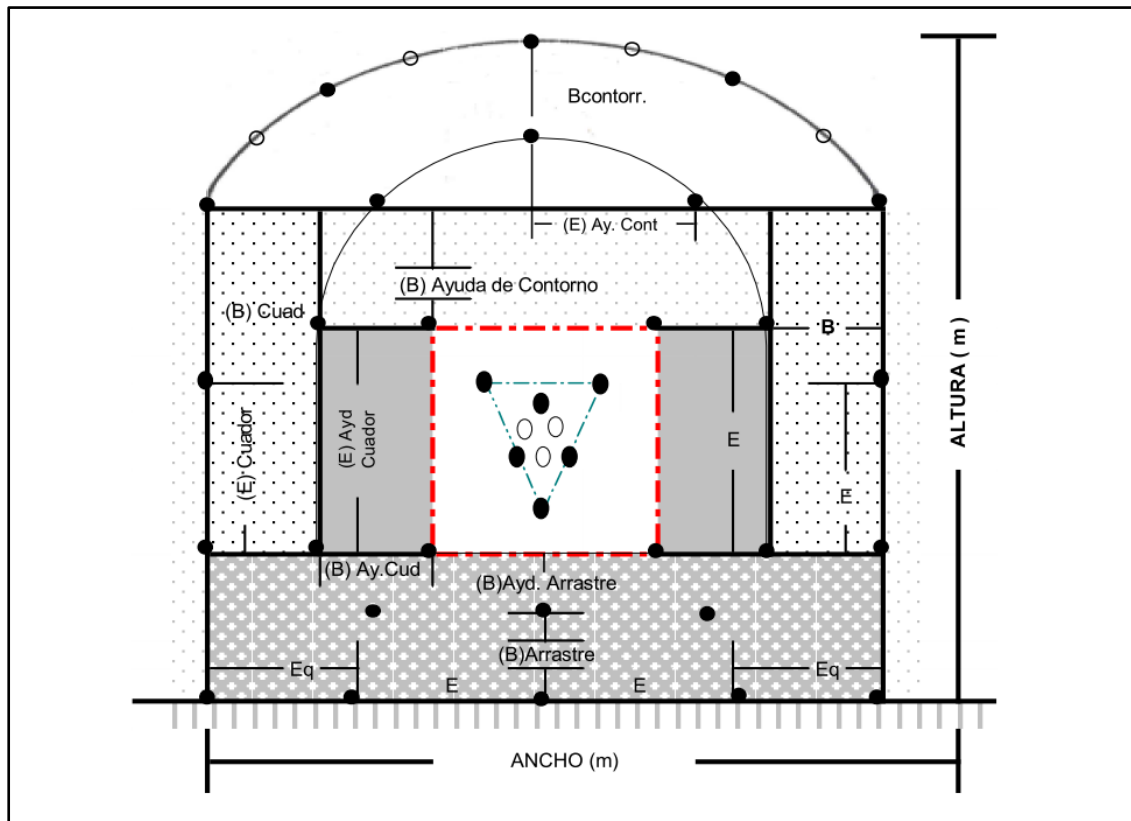


Figura 8: Esquema de ubicación de taladros en una malla estándar
Fuente: Manual de perforación y voladura – Cía. Minera Volcan S.A.A. 2008.

2.2.3.6. Avance del disparo

Según el modelo matemático de Holmberg, el avance del disparo está limitado por el diámetro del taladro vacío y la desviación de los taladros de carga que debe mantenerse por debajo del 2%; los avances promedios y deben llegar al 95% de la profundidad del taladro L, esto es:

$$L = 0.15 + 34.1D_1 - 39.4D_1^2$$

Donde:

L : Profundidad de los taladros a perforarse (m).

D_1 : Diámetro del taladro vacío (m).

Cuando se utilizan arranques con varios taladros vacíos en lugar de uno solo, entonces la ecuación anterior sigue siendo válida si:

$$D_2 = \sqrt{n} * D_1 \dots\dots\dots 2$$

Donde:

D_2 : Diámetro del taladro de alivio equivalente.

n : Número de taladros vacíos en el arranque.

D_1 : Diámetro del taladro a cargar.

Algoritmo de Holmberg:

$$I = 0.95 * H \dots\dots\dots 3$$

Donde:

I : Avance de la voladura (m).

H : Profundidad de los taladros a perforarse (m).

0.95 : Eficiencia de avance (%).

2.2.3.7. Perforación secundaria

Se origina estos tipos de perforación cuando después de la voladura por mala fragmentación debido a deficiencias en los disparos, también se origina por efectos de fisuras naturales de la roca, estos tipos de perforación es peligrosa y cara, suele traer retrasos en el trabajo. La eliminación de estos bancos es mediante perforaciones cortas de 2 a 4 pies llamados “Cachorros”, para depositar el explosivo, de otro modo se elimina colocando explosivos en la superficie de falla, llamado “Plasta” esto dependerá del tamaño del banco (López, 1994).

2.2.3.8. Fallas de perforación en taladros de pequeño diámetro

Los errores son significativos, especialmente si afectan al arranque del disparo (EXSA, 2001).

Entre ellos tenemos:

- a. En arranques: Insuficiente diámetro o número de taladros de alivio.
- b. Desviaciones en el paralelismo: En este caso el burden no se mantiene uniforme, resulta mayor al fondo lo que afecta al fracturamiento y al avance. Este problema es determinante en los arranques y en la periferia (techos) de túneles y galerías.
- c. Espaciamientos irregulares entre taladros: Propician fragmentación gruesa o sople del explosivo.
- d. La irregular longitud de taladros: Influye en el avance (especialmente si el de alivio es muy corto) y también determina una nueva cara muy irregular.
- e. Intercepción de taladros: Afecta a la distribución de la carga explosiva en el cuerpo de la roca a romper.
- f. Mayor número de taladros que los necesarios o diámetros muy grandes: Pueden determinar sobrecarga, que golpeará a la roca circundante.

2.2.4. Voladura de rocas

La voladura de rocas, es la actividad final que se realiza, es el cierre con éxito la guardia. Para realizar tal efecto en la roca se utiliza los explosivos comerciales en el carguío de los taladros previamente perforados, desde luego el disparador tiene que tener bien presente la actividad que desarrolla es de suma importancia y delicadeza en el uso del explosivo. De acuerdo a los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos, fragmentación y desplazamiento. El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos a su distribución y porcentajes por tamaños mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada. (López, 1997).

2.2.4.1. Condiciones para una voladura

Existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno u otro; unos son controlables y otros no son controlables, por ejemplo las variables de diseño, de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca (EXSA, 2003).

Para facilidad de interpretación se resume a estos factores afines en grupos, que suelen denominarse variables, factores, parámetros o condiciones fundamentales que comprende:

A. Propiedades físicas:

- **Dureza:** Indica aproximadamente la dificultad de perforarla.
- **Tenacidad:** Indica aproximadamente entre la dificultad de romperse bajo el efecto de fuerza de compresión, tensión e impacto, variando entre los rangos de friable (fácil), intermedia a tenaz (difícil).
- **Densidad:** Indica aproximadamente entre la dificultad para volarla y varía entre 1.0 a 4.5 g/cm³ en promedio. Rocas densas requieren también explosivos y rápidos para romperse.
- **Textura:** Forma de amarre de los cristales o granos y sus grado de concentración o cohesión, también relacionada con su facilidad de rotura.
- **Porosidad:** Proporción de poros u oquedades y su capacidad de captar agua.
- **Variabilidad:** Las rocas no son homogéneas en su composición y textura, tiene un alto índice de anisotropía o heterogeneidad.
- **Grado de alteración:** Deterioro producido por efecto del intemperismo y aguas freáticas, además de fenómenos geológicos que las modifican o transforman.

B. Propiedades elásticas o de resistencia dinámica de las rocas:

- **Frecuencia sísmica:** Velocidad con la que estas ondas atraviesan las rocas.
- **Resistencia mecánica:** Resistencia a las fuerzas de compresión y tensión.
- **Fricción interna:** Habilidad de las superficies internas para deslizarse bajo esfuerzos (rocas estratificadas).
- **Impedancia:** Relación de la velocidad sísmica y densidad de la roca versus la velocidad de detonación y la densidad del explosivo. Usualmente las rocas con altas frecuencias sísmicas requieren explosivos de alta velocidad de detonación.

C. Condiciones geológicas:

- **Estructura:** Es la forma de presentación de las rocas y está en relación con su origen y formación (macizo, estratos, etc.).

- **Grado de fisuramiento:** Indica la intensidad y amplitud del fracturamiento natural de las rocas. Son importantes la orientación (rumbo y buzamiento) de los sistemas de fisura y el espaciamiento entre ellos.
- **Presencia de agua:** Define incluso el tipo de explosivo a utilizar.

D. Parámetros de explosivo (Propiedades físico – químicas):

- **Densidad:** Peso específico (a mayor densidad, mayor potencias), varía entre 0.7 a 1.6 g/cc. Todo explosivo tiene una densidad crítica encima de la cual ya no detona.
- **Transmisión o simpatía:** Transmisión de la onda de detonación en la columna de carga, una buena simpatía asegura la explosión total de la columna de carga.
- **Resistencia al agua:** Varía desde nula hasta excelente (varias horas).
- **Energía del explosivo:** Calculada en base a su formulación, aplicable para calcular su capacidad de trabajo (ver Cuadro 3).
- **Sensibilidad a la iniciación:** Cada explosivo requiere de un iniciador o cebo mínimo para iniciarse (usualmente se tiene como referencia al detonador n° 8 para calificarlos como altos explosivos (sensibles) y agentes de voladura (insensibles), por lo que requieren un cebo más potente).
- **Volumen normal de gases:** Cantidad de gases en conjunto generados por la detonación de 1kg de explosivo a 0° C y 1 atm, de presión expresado en l/kg, indica aproximadamente la “cantidad de energía disponible” para el trabajo a efectuar y generalmente varía entre 600 y 1000 l/kg.
- **Categoría de Humos:** Factor de seguridad que califica su toxicidad (todos los explosivos generan gases de CO y NO en diferentes proporciones).
- **Presión de taladro:** Fuerza de empuje que ejercen los gases sobre las paredes del taladro se expresa en kg/cm², en kilobar (Kbar) o en Mega pascal (Mpa).

$$P_t = \frac{P_E \times (POD)^2 \times 10^{-3}}{8}$$

.....4

Donde:

P_t : Presión de taladro (MPa).

P_E : Densidad del explosivo (g/cm³).

POD: Velocidad de detonación (m/s).

Cuadro 3: Energía de los explosivos en MPa

Tipo de Explosivo	Dimensión del Explosivo	Carga Continua	Carga Desacoplada	Carga Desacoplada y Espaciada
Semexa 80%	1 1/2" x 8"	2 986,88	1 924,43	781,56
Semexa 80%	7/8" x 8"	2 986,88	464,69	188,72
Semexa 65%	1 1/2" x 8"	2 469,60	1 591,15	646,21
Semexa 65%	7/8" x 8"	2 469,60	384,21	156,04

Fuente: Manual práctico de voladura - EXSA 2003.

E. Condiciones de la carga:

- **Diámetro de la carga (diámetro del taladro):** Influye directamente sobre el rendimiento del explosivo y la amplitud de la malla de perforación. Todo explosivo tiene un diámetro crítico; por debajo de ese diámetro no detonan.
- **Geometría de la carga:** Relación entre el largo de la carga con su diámetro y el punto donde es iniciada. Se refleja en el proceso de rompimiento y en la formación de "zonas de fracturación" en las cargas cilíndricas de los taladros de voladura.
- **Grado de acoplamiento:** Radio del diámetro de carga al diámetro del taladro. El acoplamiento físico entre la carga explosiva y la roca permite la transferencia de la onda de choque entre ellas, teniendo un carácter muy significativo sobre el rompimiento. Se dice que un taladro está acoplado cuando el diámetro del cartucho se acerca al diámetro del taladro.
- **Grado de confinamiento:** Depende del acoplamiento, del taqueo o acabado, del uso de taco inerte para sellar el taladro y de la geometría de la carga (burden y distancia entre los taladros). Un confinamiento demasiado flojo determinará un pobre resultado de voladura.
- **Intervalos de iniciación de las cargas (*Timing*):** Los taladros deben ser disparados manteniendo una secuencia ordenada y correcta, para crear las caras libres necesarias para la salida de cada taladro, lo que se logra con los detonadores de retardo o con métodos de encendido convencional escalonados.

- **Distribución de carga en el taladro:** La carga explosiva puede ser de un solo tipo en todo el taladro (carga única) o tener primero explosivo más denso y potente (carga de fondo) y luego explosivo menos denso (carga de columna).

2.2.4.2. Evaluación de la voladura

Una voladura se evalúa por los resultados obtenidos (EXSA, 2003).

Para calificarla se consideran los siguientes aspectos:

1. El volumen o tonelaje del material movido deberá ser igual o cercano al volumen teórico calculado previamente considerando el esponjamiento del material roto.
2. El avance del frente disparado (tacos quedados).
3. El nivel del piso en bancos o el piso del nuevo banco disparado debe resultar al mismo nivel del existente. Si se presentan irregularidades como lomos (*toes*), debe presumirse muy poca sobre perforación o falta de carga de fondo.
4. El grado de fragmentación del material disparado o el tamaño promedio requerido de los fragmentos depende del trabajo en que se van a emplear, pero por lo general la fragmentación demasiado gruesa o demasiado menuda son inconvenientes.
5. La sobrerotura (*Over break*) y la sobre rotura hacia atrás (*Back break*) en bancos, afectan la estabilidad de la nueva cara libre de voladura y a los taladros que hayan sido perforados a continuación de la última fila disparada.
6. El desplazamiento y acumulación del material volado, debe ser adecuado para facilitar las operaciones de carga y acarreo: La forma de acumulación se proyecta de acuerdo al tipo de equipo que se va a emplear en la limpieza del disparo.
7. La dispersión de fragmentos a distancia. Además de incrementar el riesgo de proyección de fragmentos volantes, tiene el inconveniente en minas de “diluir” el material de valor económico al mezclarlo con desmonte, cuando se desparrama lejos de la cara de voladura.
8. La falta de desplazamiento, cuando un disparo rompe material pero no se mueve de su sitio, se dice que el tiro se ha “congelado”. Esto se traduce en mala fragmentación en la parte inferior e interior del banco.

9. Costo de la voladura, para determinar el costo total de una voladura, además del costo de perforación (aire, barrenos, aceite, depreciación de la máquina, etc.) costo de explosivos, accesorios y planilla del personal (valorados en S/. ó US\$/TM) se deben tener en cuenta los costos de carguío y acarreo del material triturado, más los adicionales de voladura secundaria de pedrones sobre dimensionados y los de empleo de equipo adicional para eliminar lomos al piso.
10. Cantidad de carga: Depende de la tenacidad de la roca y de la dimensión del frente de voladura. Influyen el número, diámetro y profundidad de los taladros y el tipo de explosivos y sistema de iniciación a emplear. Se debe tener en cuenta que la cantidad de explosivo por m^3 de roca a volar disminuye cuanto más grande sea la sección del túnel y también aumenta cuanto más dura sea la roca (ver Cuadro 4).

Cuadro 4: Consumo de explosivo/ m^3 de roca arrancada

Área del Túnel en m^2	Kilos de Explosivo Estimados por m^3 de Roca		
	En Roca Dura y Tenaz	En roca intermedia	En roca suave y friable
de 1 a 5	2.60 a 3.20	1.80 a 2.30	1.20 a 1.60
de 5 a 10	2.00 a 2.60	1.40 a 1.80	0.90 a 1.20
de 10 a 20	1.65 a 2.00	1.10 a 1.40	0.60 a 0.90
de 20 a 40	1,20 a 1.65	0.75 a 1.10	0.40 a 0.60
de 40 a 60	0.80 a 1.20	0.50 0.75	0.30 a 0.40

Fuente: Manual práctico de voladura - EXSA 2003.

2.2.5. Costos

El costo constituye el fundamento para el costeo del producto, la evaluación del desempeño y la toma de decisiones gerenciales. El costo se define como "el valor sacrificado para adquirir un bien o servicio que se mide en dólares, mediante la reducción de activos o al incurrir en pasivos en momento que se obtienen los beneficios". En el momento de la adquisición, el costo en que se incurre es para lograr beneficios presentes o futuros. Cuando se utilizan estos beneficios, los costos se convierten en gastos. Un gasto se define como un costo que ha producido un beneficio y que ha expirado. (Lupaca, 2009).

2.2.5.1. Costo de producción

El costo de producción es llamado también costo de operación que son aquellos generados en forma continua durante el funcionamiento de una operación. Los datos suministrados por un sistema de contabilidad de costos se combinan con otros datos y se analizan, con base a estos resultados, la gerencia toma decisiones y formula estrategias como por ejemplo: el nivel de producción, ampliación de instalaciones en el proceso de producción, etc. Los costos de producción pueden subdividirse en dos categorías principales: Costos directos y costos indirectos. Asimismo se puede adicionar una tercera categoría que son los llamados costos generales que normalmente se incluyen en una estructura de costos como costos indirectos.

2.2.5.2. Naturaleza de los costos de producción

Los costos directos de producción son los variables directos, que son aquellos donde el costo unitario se mantiene constante y el costo variable total varía con el nivel de producción.

Los costos indirectos son los fijos, que son aquellos donde el costo fijo total se mantiene constante y el costo fijo unitario varía con el volumen de producción.

Ambos tipos de costos se aplican dentro de un rango relevante de la empresa, un rango relevante se describe como aquel intervalo de actividad donde se cumplen las condiciones de la naturaleza de los costos de producción arriba mencionadas.

a) Costo variable directo

Son los costos primarios de una operación que generalmente constituyen las aportaciones para el personal y materiales directos como: mano de obra directa, herramientas de trabajo, equipo directo, entre otros.

b) Costo fijo indirecto

Los costos fijos indirectos no dependen de la producción obtenida, pero pueden depender del nivel de producción proyectado. Son costos secundarios de una operación y que generalmente constituyen en las aportaciones para personal empleado y materiales indirectos de producción.

Un aspecto importante a tener en cuenta para los cálculos de costos en avances y explotación, es la determinación del costo de equipo de perforación y afilado, pues son los equipos directos de producción, de tal manera determinaremos su costo horario para cada uno, permitiéndonos antes, describir la base teórica para su cálculo.

2.2.5.3. Estructura de costos unitarios mina

La determinación de una estructura de costos constituye, principalmente, la base fundamental para la toma de decisiones en una empresa minera. Con ella se puede planear, programar y controlar las desviaciones.

a) Costos variables directos

Para efectos de los cálculos se considera:

- Salarios de personal obrero.
- Implementos de seguridad para personal obrero.
- Herramientas y equipos directos.
- Explosivos y accesorios.
- Costo horario de equipo de perforación y afilado, equipo de limpieza.

b) Costos fijos indirectos

Consisten en las aportaciones para:

- Staff de empleados (Ing. residente, seguridad, asistente, jefes de guardia, capataces, bodegueros, administrador, almacenero y otros).
- Alimentación para personal empleado y obrero.
- Movilización de personal (sistema de trabajo).
- Servicio de movilidad y otros en mina (camioneta, camioncito, cargador de lámparas y radio).
- Implementos de seguridad para empleados. Además se considera los gastos generales administrativos, contingencias e imprevistos y utilidad. Estos últimos están generalmente referidos en porcentajes del costo directo e indirecto final.

Otra consideración importante a tener en cuenta, es que las variables más importantes que intervienen en estos cálculos son obtenidos de los estándares de operación determinados.

2.3. Definiciones conceptuales

Estándares de perforación y voladura: Son los parámetros técnicos calculados y diseñados, evaluados minuciosamente para su aplicación y que sirven como modelo dentro de un periodo determinado. Al implementar los estándares de perforación y voladura para un determinado periodo de plan, el control consiste en comparar los estándares obtenidos reales con los planeados.

Parámetros de perforación y voladura: Se denomina así a los diversos ratios obtenidos en la práctica, a través de la observación en el lugar de trabajo.

Geomecánica: Se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamientos mecánicos de los materiales rocosos. Básicamente este comportamiento geomecánico depende de los siguientes factores: Resistencia de la roca, grado de fracturación del macizo rocoso y la resistencia de las discontinuidades.

Proceso de operación: Es un conjunto de actividades y recursos como método, mano de obra, máquina, material y medio ambiente, que interrelacionados transforman elementos de entrada en elementos de salida o resultados definidos.

Optimización de producción: Es encontrar una solución óptima de un problema, es encontrar mejores resultados que da la utilidad más alta (producción o valor deseado), o el resultado con el mínimo costo (desperdicio o valor no deseado) e involucra al uso más eficiente de los recursos, incluyendo tiempo, dinero, máquina, personal y otras más.

Indicadores de gestión: Es la medida estadística que permite medir las metas que la empresa tenga propuesta en función de los objetivos trazados. Un indicador de gestión permite ayudar a la alta gerencia y a los principales encargados del área a la toma de decisiones, análisis, cumplimiento de metas, reducción de costos, aumento de la eficiencia, operatividad, mejorar la calidad de servicio prestado para la satisfacción del cliente, por lo tanto un indicador permitirá la utilización de modernas herramientas de control de gestión que permita medir los resultados arrojados.

Control de procesos: Este consiste en tener un proceso estandarizado para realizar una función, se debe monitorear el proceso para asegurar que funciona como se pretende y ajustarlo para mantenerlo en condiciones apropiadas si está fuera de las condiciones deseadas. Un operario debe mantener un gráfico de control para el proceso y si se producen resultados que están fuera de los límites de control, se realizan las acciones correctivas.

Herramientas del control de la calidad: Son un conjunto de técnicas y gráficas utilizadas para la solución de problemas. Tales como: diagrama de Pareto, histograma, diagrama de causa-efecto, diagrama de flujo, gráficas de control, hoja de verificación y/o *checklist*, *brainstorming*, entre otras mas.

Hoja de verificación: También denominado *Checklist* es un formato elaborado para la recolección y el análisis de datos que pueden ser empleados para una gran variedad de propósitos. Es una herramienta sencilla pero eficaz que permite recopilar información específica sobre los defectos que sepueden encontrar durante la producción.

Diagrama de flujo: Un diagrama de flujo es una representación gráfica en la que se muestran todos los pasos de un proceso de trabajo. Además es una herramienta visual fácil de usar y comprender. Al representar los pasos necesarios para una operación permiten estandarizar los procesos para que todos puedan realizar una operación siguiendo las mismas actividades establecidas.

Diagrama de causa-efecto: También denominado “Diagrama de Ishikawa” es una herramienta útil para identificar y clasificar las causas reales de los problemas. Estos diagramas permiten comprender la situación actual de un tema, identificar los problemas y luego abordar las causas que los generen.

Diagrama de Pareto: El diagrama de Pareto es un gráfico de barras verticales, que representa los problemas en forma ordenada, de mayor a menor ocurrencia. Pueden aplicarse a situaciones muy distintas con el fin de establecer las prioridades de la mejora, y siempre reflejan el mismo principio de pocas fundamentales y muchas triviales.

Gráficas de control: También conocidas como cartas de control como una representación gráfica de una o más características de la calidad en un proceso a lo largo del tiempo. Esta representación permite analizar la variabilidad y el comportamiento del proceso alrededor de un valor medio y dentro de los límites de control.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de la calidad, será posible optimizar la ejecución de labores subterráneas como galerías y cruceros en la mina Ana María.

2.4.2. Hipótesis específicos

- Estandarizando los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos, será posible mejorar el rendimiento de avance por disparo.
- La estandarización de los procesos de perforación y voladura, influirá significativamente en la reducción de costos operativos.
- Con la implementación nuevos estándares de perforación y voladura se mejorará la ejecución de galerías y cruceros.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño metodológico

De acuerdo a la naturaleza del trabajo de investigación y por las características del estudio es de tipo descriptivo y aplicada, el estudio se refiere a la estandarización de los procesos de perforación y voladura en la ejecución de galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m. en la mina Ana María.

La metodología de investigación en el presente proyecto será el método científico-analítico, porque es una investigación que usa las técnicas y herramientas que permiten realizar los objetivos.

Además se hará el uso del método estadístico, porque se describen los datos y características de la población o fenómeno en estudio.

En el diagrama de la Figura 9, se muestra la metodología de desarrollo adoptado para el presente proyecto de investigación es la metodología de los 7 pasos del control de la calidad que es un proceso sistemático, donde se expresa desde un principio hasta el final de la investigación para contrastar y concluir nuestras hipótesis.

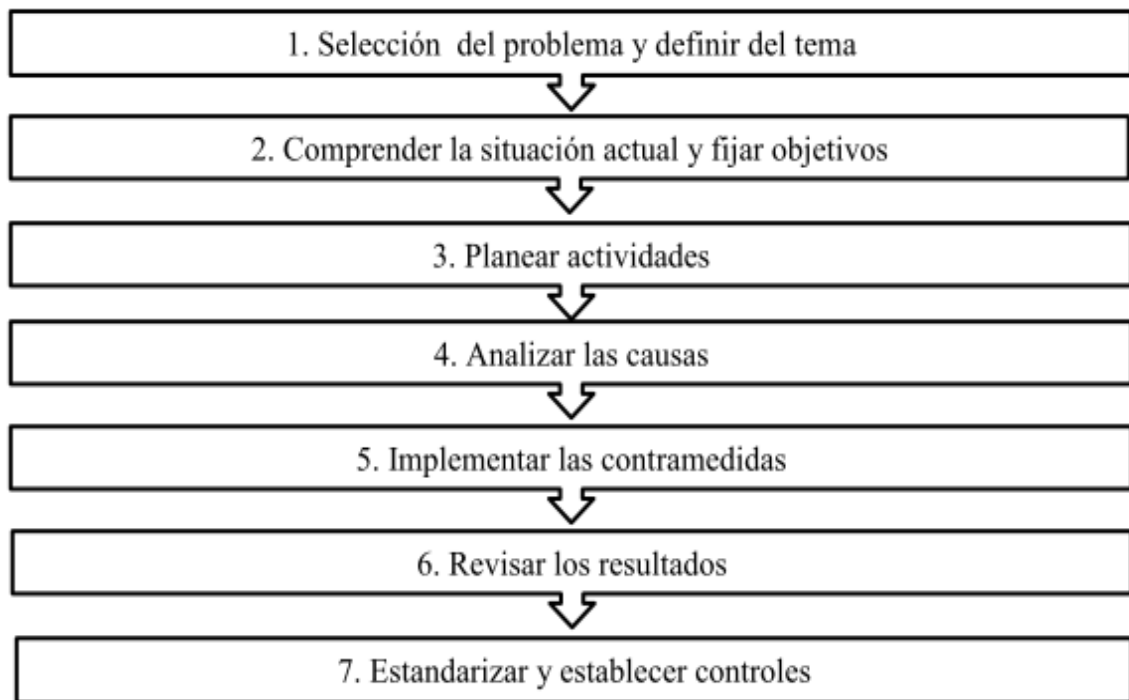


Figura 9: Diagrama de desarrollo de la metodología de los 7 pasos
Fuente: Manual de mejora continua - Cía Minera Poderosa S.A. 2000.

1. Selección del tema: El primer paso está encaminada a la selección del problema, que para el presente proyecto es el bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m. y luego se definió el tema de acción a desarrollar.
2. Comprender la situación actual y fijar objetivos: Se realizó un diagnóstico de la situación inicial de los procesos de perforación y voladura, haciendo uso de herramientas del control de la calidad: diagramas de flujo y gráficas de control lineal. Además se realizó el control y evaluación de los indicadores claves como: número de taladros, longitud de avance, consumo de explosivo y cálculo de costos operativos en la prueba piloto Galería 200-W.
3. Planear actividades: Se elaboró el cronograma de desarrollo del proyecto y para controlar el cumplimiento de las actividades, empleando diagrama de Gantt.
4. Analizar las causas: El análisis de las causas del problema bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros, se realiza haciendo uso de las herramientas de la calidad: hoja de verificación, diagrama de causa-efecto y diagrama de Pareto, con los cuales se ha determinado las causas raíz del problema en estudio.

5. Implementar las contramedidas: Se planteó y elaboró las propuestas de acciones de contramedidas a implementar para eliminar y/o minimizar las causas raíz de los defectos y ponerlas en práctica los estándares provisionales en la prueba piloto.
6. Revisar los resultados: En esta etapa se evaluó los resultados alcanzados luego de ser implementadas las contramedidas y verificó los cambios en la información registrada de los gráficos de control antes y después de la ejecución del proyecto; se realizó la comparación de los indicadores de perforación y voladura y costos.
7. Estandarizar y establecer controles: En esta etapa se plasmaron las mejoras y reglas que se establecieron, donde se da la claridad de cómo se va a controlar, con qué frecuencia, dónde y quién es el responsable de dicho control o seguimiento.
8. Finalmente se presenta los resultados finales alcanzados en los indicadores de perforación y voladura y costos operativos en la prueba piloto Galería 200-W, con el cual se contrasta y concluye las hipótesis planteadas en el presente proyecto de investigación.

3.2. Población

La población para este trabajo de investigación está constituida por las labores de la mina Ana María, ejecutados por la Empresa Corporación Minera Ananea S.A.

3.3. Muestra

La muestra está constituida por el labor piloto Galería 200-W del Nivel 4995 zona Santa Ana de la mina Ana María de la Corporación Minera Ananea S. A.

El plano topográfico y el plano geomecánico de referencia de la prueba Piloto Proyecto Galería 200-W, se puede apreciar en el Anexo 1 y Anexo 2 respectivamente.

3.4. Operacionalización de las variables

Variable Independiente

La estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de la calidad en la mina Ana María.

Definición conceptual:

La estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de la calidad, es un método científico del control de la calidad, que permite obtener resultados consistentes en la productividad y costos y está relacionado directamente a los factores que intervienen en los procesos de perforación y voladura: Método de trabajo, mano de obra, materiales y herramientas, máquina y servicios, medio ambiente y seguridad.

El empleo de la metodología de los 7 pasos del control de la calidad, permitirá realizar el diagnóstico detallado de cada uno de los factores antes mencionados y detectar las debilidades críticas que hay en cada factor mediante el empleo de las herramientas como: diagrama de causa-efecto, diagrama de Pareto, gráficas de control, hoja de verificación, entre otras herramientas. Lo más importante es que esta técnica permite identificar las causas raíz del problema.

Variable Dependiente

Optimización de la ejecución de las labores de galerías y cruceros en la Ana María.

Definición conceptual:

La optimización del rendimiento de avance, mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura, tiene por objetivo exponer la factibilidad de la reducción de costos por la eficiencia de avance.

En el Cuadro 5, se muestra la racionalización de las variables planteadas del proyecto:

Cuadro 5: Operacionalización de las variables

VARIABLES	INDICADORES	MEDICIÓN
V. I. Estandarización de los procesos de perforación y voladura	Método	Bueno >60% Regular 30-60% malo <30%
	Personal	Bueno >60% Regular 30-60% malo <30%
	Materiales y herramientas	Bueno >60% Regular 30-60% malo <30%
	Máquina y servicios	Bueno >60% Regular 30-60% malo <30%
	Medio ambiente y seguridad	Bueno >60% Regular 30-60% malo <30%
	V. D. Optimización de la ejecución de las labores de galerías y cruceros	Rendimiento de avance
Rendimiento de labor		m/h-gdía
Factor de carga		kg/m ³ , kg/TM, kg/m
Costos		S./m, US\$/m

Fuente: Autor de tesis.

3.5. Técnicas

Las técnicas empleadas en la investigación: observación directa de los procesos de perforación y voladura, elaboración de diagramas de causa-efecto, análisis de los indicadores de producción, análisis documental de las operaciones, capacitaciones, encuestas y cuestionarios.

3.5.1. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados en la presente investigación son:

- Observación directa en campo.
- Formato de registro de perforación y voladura.
- Hoja de verificación.
- Hoja de reporte de labor.

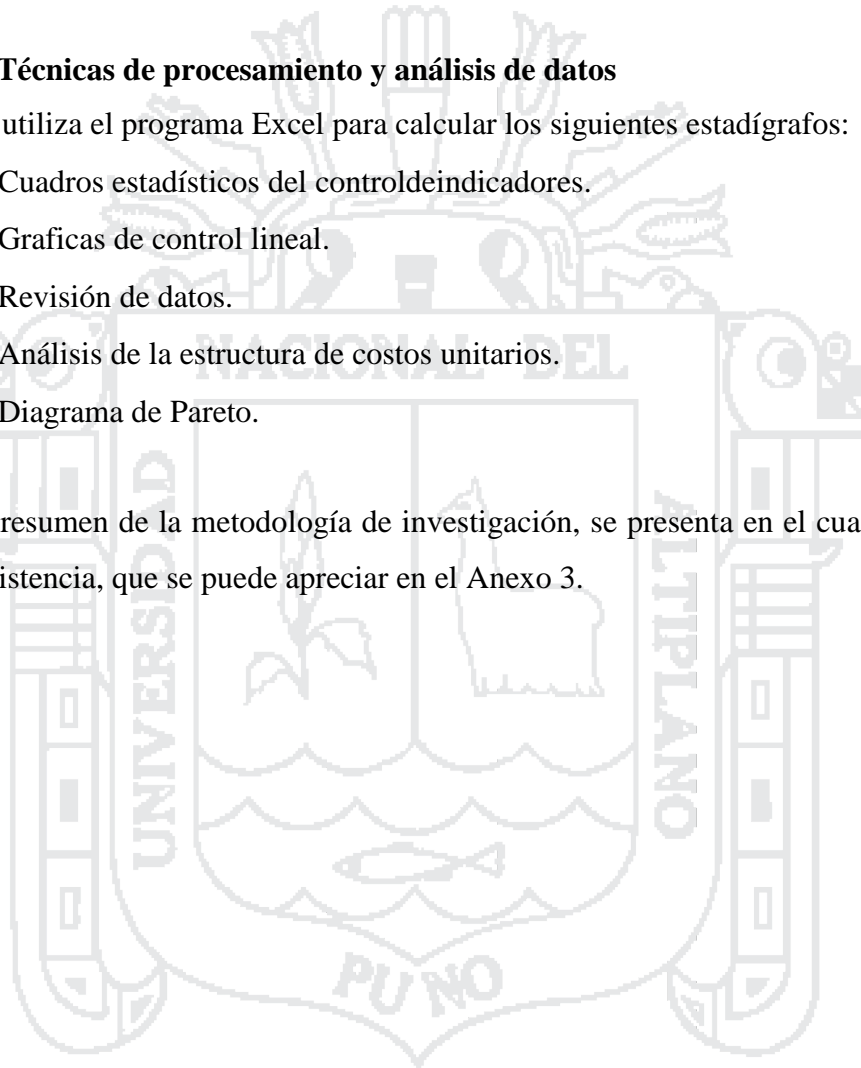
- Diagrama de flujo.
- Diagrama de causa-efecto.
- Diagrama de flujo.
- Control de costos operativos mina.
- Toma de fotografías para evaluar la voladura.

3.5.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se utiliza el programa Excel para calcular los siguientes estadígrafos:

- Cuadros estadísticos del control de indicadores.
- Gráficas de control lineal.
- Revisión de datos.
- Análisis de la estructura de costos unitarios.
- Diagrama de Pareto.

El resumen de la metodología de investigación, se presenta en el cuadro de matriz de consistencia, que se puede apreciar en el Anexo 3.



CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

4.1. Aspectos generales

4.1.1. Ubicación

La mina Ana María, se encuentra ubicada en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, en el distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina, Departamento de Puno. El mapa de ubicación geográfica de la mina Ana María, se puede apreciar en el Anexo 4.

Sus coordenadas geográficas son:

Latitud	: 14°37'26"
Longitud	: 69°26'48"

Altitudes de la zona oscilan entre 4800 y 5100 m.s.n.m.

4.1.2. Accesibilidad

Desde la capital de la república – Lima, se accede mediante vía terrestre y aérea hasta la ciudad de Juliaca, y desde la capital de la Región Puno; siendo la ruta más accesible, comercial y transitada es la siguiente:

Puno – Juliaca	: 45 km. Carretera asfaltada.
Juliaca – Putina	: 90 km. Carretera asfaltada.

Putina – Ananea : 62 km. Carretera asfaltada.

Ananea – Rinconada : 16 km. Carretera afirmada.

Total : 213 km

Donde el tiempo de viaje desde la ciudad de Puno, hasta el asiento minero es de aproximadamente 4.5 horas.

4.1.3. Clima

El clima es muy frío y seco propio de la región Janca o Cordillera, caracterizado por tres temporadas definidas las cuales son: temporada de heladas de Mayo a Julio, temporada de viento de Agosto a Octubre y temporada de nevadas de Noviembre hasta Abril; la temperatura media anual es de 8°C, registrando máximas de 20°C y mínimas de -27°C (ver Cuadro 6).

Cuadro 6: Temperaturas medias anuales

Temperatura	Temporada de Heladas		Temporada de Vientos		Temporada de Nevadas	
	Mayo	Julio	Agosto	Octubre	Noviembre	Abril
Promedio	7°C		8°C		10°C	
Máxima	20°C		18°C		17°C	
Mínima	-27°C		-16°C		-12°C	

Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Geología 2014.

4.1.4. Flora

Debido a la gran altitud de la región, la vegetación es muy escasa, donde solamente sobreviven pastos y plantas silvestres, por los intensos fríos y precipitaciones sólidas, que algunas plantas son adaptables a la región y se desarrollan en determinados lugares y zonas abrigadas, dentro de ello tenemos: el ichu, huila huila, paco-paco, que algunos sirven como alimento del ganado y para techado de viviendas.

4.1.5. Fauna

En la región la presencia de animales es escasa y solamente en algunos lugares se reproducen camélidos (alpacas, llamas, ovinos), así mismo se aprecia la presencia de una variedad de aves silvestres tales como: Pato, gaviota, curco, águila, pájaros, lagartijas y trucha.

La presencia de algunos animales salvajes de la familia de los roedores como son la vizcacha y conejos; también se tiene referencia de la aparición de zorros y pumas.

4.2. Aspecto geológico

4.2.1. Geología regional

Dentro de las concesiones y mina Ana María se encuentran los siguientes grupos geológicos:

- Formación Sandia.
- Formación Ananea.
- Formación Arco Aja.
- Morrenas y depósitos aluviales cuaternarios.

La zona de Comuni 21, Santa Ana y Balcón III, en donde se encuentran las operaciones de la Corporación Minera Ananea S.A., pertenece a la edad geológica de la formación Sandia. La ubicación geológica del yacimiento aurífero Ana María se presenta de la siguiente manera:

Era:	Paleozoica inferior
Sistema:	Ordoviciano superior
Serie:	Caradociano
Unidad litoestratigráfica:	Formación Sandia

El mapa de ubicación geológica de la mina Ana María, se puede apreciar en el Anexo 5.

a) Formación Sandia

Según (*Laubacher, 1978*). La formación Sandia está definida como una secuencia detrítica de cuarcitas con pizarras negras en capas gruesas a medianas, con un espesor aproximado de 1,500 m. La formación Sandia presenta un conjunto de Siltitas finas y pizarras negras, con una foliación paralela predominante, las estructuras sedimentarias internas son variadas formando dunas de varios kilómetros de longitud de onda, presentando laminaciones paralelas y con niveles de reactivación arcillosa dentro de las juntas y fallas del tectonismo.

Esta formación se habría sedimentado en un ambiente de llanura Tidal, por tratarse de una sedimentación impuesta por Siltitas y Lutitas, cuyas estructuras internas corresponden a *Flasser Bedding*, *Lenticular Bedding*.

Wave Bedding y otras, que posteriormente fue afectada por el proceso Ehorciniano hace 400-450 millones de años. Esta unidad geológica aflora ampliamente desde la zona sub-central hacia el norte de todo el yacimiento, formando los cerros y nevados del Ananea, con una continuación hacia las zonas posteriores de: Cuyo Cuyo, Risopata, Vilacota, Sorapata, Huancasayane y Untuca, las cuales también presentan mantos auríferos. Su contacto estratigráfico con la unidad infrayacente no se observa, mientras que el contacto con la formación Ananea es anormal a través de un fallamiento inverso que muestra a la formación Sandia cabalgando sobre la formación Ananea.

b) Formación Ananea

Según (Laubacher, 1978), la formación Ananea consiste en una gruesa serie de pizarras y esquistos epimetamórficos, la litología de esta formación corresponde a una homogénea y monótona sucesión de pizarras negras en paquetes de 20 a 80 cm., afectada por una esquistosidad de flujo, que en muchos casos impide observar la estratificación.

c) Formación Arco Aja

Unidad que se encuentra restringida a la depresión de Carabaya, alcanzando un grosor aproximado de 120 mts, constituida por horizontes de arcillas, gravas, y conglomerados con niveles lenticulares de areniscas, la composición de los rodados es predominantemente cuarcitas, pizarras y algunos intrusivos de la edad del Mioceno; en esta unidad se incluyen acumulaciones de sedimentos detríticos de origen aluvial, coluvial, eólico y glacial.

d) Tectonismo regional

Durante el Paleozoico inferior y específicamente en tiempos del Ordovícico (formación Sandia), el área se situaba en una plataforma estable posiblemente en continuidad con el cratón brasileño.

Una llanura Tidal instalada sobre esta plataforma recibía aportes de areniscas, finas Siltitas y arcillas; el origen de estos aportes son difíciles de saber, pues las llanuras Tidales son zonas de trabajo de sedimentos, quizás la zona de aportes era de relieve plano y cubierta de una vegetación primaria, posteriormente una fase tectónica compresiva, acompañada de un metamorfismo epizonal afectaría esta parte de la cuenca, a estos eventos se sumó una actividad magmática representada por una serie de intrusiones de carácter granítico, quedando así formada la cadena Eohercínica. Las características de la formación del yacimiento Ana María (ver Figura 10).

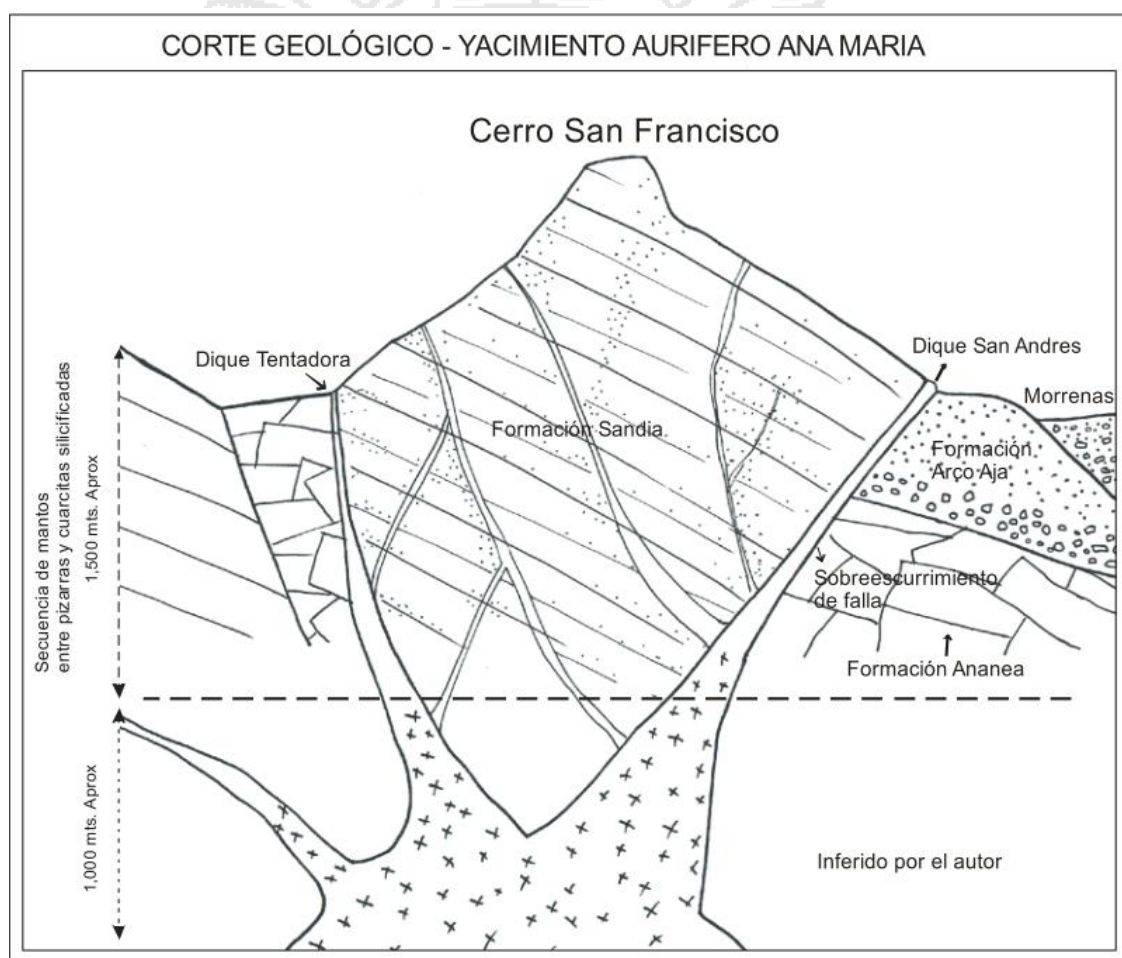


Figura 10: Esquema del corte geológico del yacimiento Ana María
Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Geología 2014.

Los depósitos de oro filoneo del metalotecto de la mina Ana María, está relacionado a la Orogenia Eohercínica de origen hidrotermal del Paleozoico inferior, la cual debido a la discontinuidad de metamorfismo, indicarían que la cadena Eohercínica se levantó y fue sometida a erosión.

e) Ciclo Eohercínico

Se presenta en el paleozoico inferior, sobre la llanura Tidal, es una fase producida por un plegamiento acompañado de un metamorfismo regional con eventos de actividad magmática, representada por una serie de intrusiones de carácter granítico, con asociación mineralógica consistente en muscovita, clorita y sericita, que sugiere un metamorfismo de tipo epizonal, con relaciones de esquisto – falla.

La columna estratigráfica del Área Ana María, se puede apreciar en el Anexo 6.

4.2.2. Geología local

Las operaciones mineras de la Corporación Minera Ananea, están emplazadas en estructuras de vetas de cuarzo mineralizadas en forma de mantos, los mantos son de cuarzo ahumado grisáceo con presencia de pirita, arsenopirita, pirrotita, galena sulfuros de Cu y fundamentalmente Oro en diferentes tamaños (microscópicos y en forma de “charpas”), estos mantos están encajados en pizarras intercaladas con cuarcitas silificadas, la potencia promedio de los mantos es de 4 cm. Presentándose en fajas delgadas, y en algunos tramos milimétricos, con una mineralización discontinua.

Los mantos son de origen hidrotermal, habiendo sido guía las cuarcitas durante el ascenso de los flujos mineralizantes, siendo por lo tanto contemporáneos con las sedimentación del Paleozoico inferior, los cuales han sido afectados por la orogenia Eohercínica.

Localmente las estructuras geológicas en la zona de trabajo de la empresa, se ven influenciadas por el dique Tentadora, en adelante simplemente “el dique”, el cual tiene una influencia de sub-fallamiento de hasta 200 metros en su caja techo y piso. El dique es una falla inversa con relleno, pero todos los mineros de la zona lo conocen con este nombre y atribuyen la mineralización y formación de placeres y clavos auríferos a su cercanía e influencia en los mantos que están contiguos al mismo; el dique tiene un rumbo promedio de R 125° azimutales, un buzamiento promedio de 35°, y su potencia es variable ya que desde la cota 5,300 hasta 5,100 mantiene una potencia de 1.5 metros, en la cota de los trabajos de la empresa (cota 5,000) tiene 25 centímetros, y en profundidad llega a 2.00 centímetros de potencia (cota 4950), y en algunas zonas la estructura se muerde, quedando entre sus rocas encajonantes solo un halo de calcita.

El material de relleno del “dique”, es cuarzo blanco lechoso, con sus rocas encajonantes muy falladas y afectadas por el sobre-escurrimiento de agua, por lo que el dique en su conjunto es una estructura oxidada, y deleznable.

El Dique es responsable de un intenso fallamiento a sus cajas contiguas manifestado por pequeñas fallas y juntas agrupadas en tres familias, las de R 70° Az, R 190 Az y R 140 Az, de las cuales la primera familia es la más importante y sirve de control mineralógico ya que interseca la estructura del dique, y se le asocia a la aglomeración de altas leyes de mineral.

4.2.3. Geología estructural

El yacimiento minero Ana María ha sido afectado por el tectonismo eohérnico, del tipo intercontinental, con una fase compresiva y que siguió a un régimen de distensión en el Ordovícico – Silúrico – Devónico.

Fallamiento:

El fallamiento en la mina está relacionado a un periodo permo triásico, consecuente con fallas pre minerales. Siendo las fallas de control de la zona mineralizada las que orientan en dirección NW – SE.

Plegamiento:

En la mina se observa flexuras a manera de micro anticlinales y sinclinales, los cuales son el producto de fuertes movimientos horizontales, gran parte de estos plegamientos con rumbo NW – SE consecuentemente al plegamiento andino.

Diaclasamiento:

Los estratos y los mantos han sido afectados por este fenómeno observándose en superficie e interior mina estas fracturas están en dirección N – S y E – W predominantemente.

4.2.4. Geología económica

Tanto en la sección San Francisco aparecen numerosos mantos y cuarzo aurífero con espesores que varían desde 2 cm hasta 40 cm. Interestratificado entre los paquetes de pizarra de la formación Ananea. (ver Figura 11).

El rumbo general de los mantos es de E – O y el buzamiento varía de 10° a 25° al S–W.

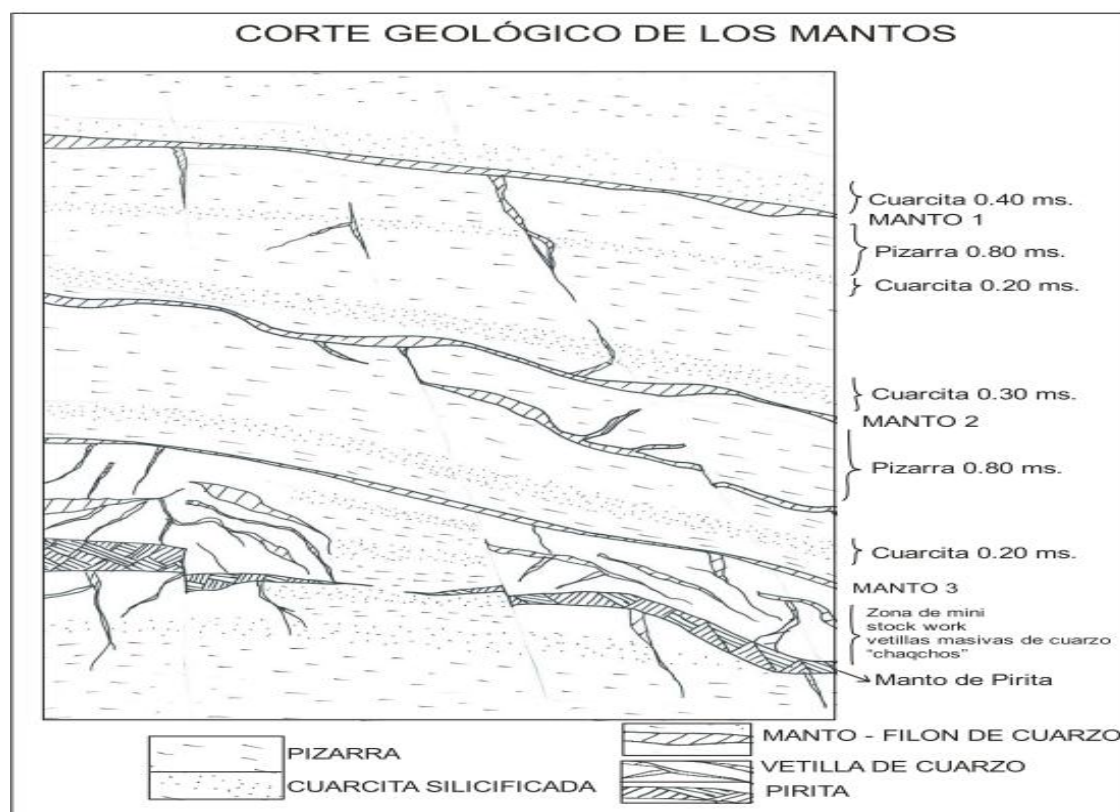


Figura 11: Esquema del corte geológico de los mantos.

Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. – Área Geología 2014.

Los mantos reconocidos están separados uno del otro de 2 metros hasta 70 metros. El relleno mineral consiste en pirita, arsenopirita, perrotita, oro nativo, raramente galena y esporádicas ocurrencias de blenda, todo en finas diseminaciones y/o venillas de cuarzo. El aspecto de los mantos es sensiblemente lenticular; la roca encajonante está débilmente alterada, generalmente una decoloración de las pizarras finamente piritizadas.

4.2.5. Mineralización

Vetas mantos de origen singenético, exalativo sedimentario con etapas epigenéticas de actividad hidrotermal sobre impuesta, disolvió la mineralización, redistribuyó y redepositó, procesos incrementados por metamorfismo regional. En la fase eohercínica el oro fue removilizado y concentrado en estructuras y litológicas favorables por eventos deformacionales y metamórficos.

4.2.5.1. Controles de mineralización

En el yacimiento Ana María existen cuatro controles fundamentales para la mineralización de oro:

- a. **Mineralogía.-** Vetas-vetillas de cuarzo inter estratificados con sulfuros (Fe, As, Pb, Zn, Cu) y oro en venillas y diseminados; singenéticos y epigenéticos; vetillas de cuarzo lenticulares, potencia de 0.1-20 cm. Py-Po-Apy asociados al oro.
- b. **Alteración hidrotermal.-** Sericita-Muscovita débil en micro venillas, rellenando fracturas y cavidades en bordes de contacto Qz-Pz asociado al Apy-Au, venillas, playas dentro de venillas Qz.
 - **Silicificación:** Blanqueamiento y compactación de roca, tramos con alta densidad de Qz, bordes silicificados.
 - **Cloritización:** Diseminación venillas fina y cristales, secundaria reemplazando sulfuros.
- c. **Estructural.-** Controladas y hospedadas por inflexiones estructurales, ejes anticlinales, pliegues, fallas inversas, cizallas, fracturamiento y foliación.
- d. **Litológico.-** Predominio de pizarras negras, bituminosas, no bituminosas, compactas, foliación moderada-intensa, pizarras carbonatadas en profundidad con intercalación de bandas delgadas siltitas-areniscas grises y calcita, siltitas, lodolitas pizarrosas son menos frecuentes.

4.3. Geomecánica

4.3.1. Manejo de la información básica

4.3.1.1. Mapeo geoestructural

Esta labor es realizada por el área de geología - geomecánica que trata de mantener actualizada esta información por lo menos para todas las labores permanentes y temporales.

Esta información es valiosa, en el sentido de que se dispondrá de elementos de juicio que apoyen a la toma de decisiones sobre las diferentes variables geomecánicas asociadas al minado.

4.3.1.2. Mapeo geomecánico

El mapeo geomecánico consiste en la recolección de la data del macizo rocoso en el campo, la descripción gráfica de las condiciones in situ del macizo rocoso considerando las diaclasas, condiciones del ambiente y clasificando el tipo de macizo rocoso, haciendo uso de las herramientas geomecánicas: picota de geólogo, brújula y cinta flexométrica y/o flexómetro. El mapeo geomecánico nos permite identificar la calidad de la masa rocosa del área en estudio, mediante la utilización del criterio de clasificación geomecánica basado en el sistema de *Bieniawski RMR (Rock Mass Rating)*. Para conocer la masa rocosa, hay necesidad de observar en el techo y las paredes de las labores mineras, las diferentes propiedades de las discontinuidades, para lo cual se debe primero lavar el techo y las paredes. A partir de estas observaciones se podrán sacar conclusiones sobre las condiciones geomecánicas de la masa rocosa. Debido a la variación de las características de la masa rocosa el supervisor deberá realizar en forma permanente una evaluación de las condiciones geomecánicas conforme avanzan las labores, tanto en desarrollo como en explotación.

4.3.1.3. Clasificación geomecánica de la masa rocosa

Para definir las condiciones de la masa rocosa de una manera sistemática, hoy en día existen criterios de clasificación geomecánica ampliamente difundidos en todo el mundo, como los desarrollados por Barton y colaboradores (1974), *Laubscher* (1977), *Bieniawski* (1989), *Hock* y *Marinos* (2000).

En esta Empresa Minera se viene adaptando el criterio *RMR* de *Bieniawski*, de acuerdo a este autor lo desarrollaremos el reconocimiento de macizo rocoso que es aplicado en área geología, para determinar el tipo de roca y de acuerdo a esta se ejecuta el sostenimiento.

4.3.1.4. Criterio *RMR (Rock Mass Rating)* de *Bieniawski* (1989)

Es la clasificación más usada actualmente, sin embargo en la Unidad Minera Ana María recién se están realizando los mapeos implementando esta clasificación.

Este criterio está basado en la experiencia ganada en la ejecución de excavaciones en roca y se refiere a los parámetros medibles en el terreno en forma rápida y fácil de entender los cuales son 5:

1. Resistencia a la compresión.
2. El *RQD (Rock Quality Designation)*.
3. El espaciamiento de las discontinuidades.
4. La condición de las discontinuidades, referida en este caso a la persistencia, apertura, rugosidad, relleno, meteorización y alteración.
5. La presencia de agua.

La tabla del sistema de valoración *RMR* (según *Bieniawsky*, 1989), se puede apreciar en el Anexo 7.

4.3.1.5. Resistencia a la compresión de la roca intacta

Que puede ser determinado con golpes de picota o martillo de geólogo, martillo de Schmidt o con otros procedimientos como los ensayos de laboratorio.

Martillo de geólogo o picota:

Considerando la resistencia de la roca a romperse con golpes de picota, la guía práctica de clasificación (ver Cuadro 7).

Cuadro 7: Criterios de resistencias de roca

RC MPa	Golpes de Picota	Clasificación	Valor	Tipo
> 250	Se astilla con varios golpes de picota	Muy alta	15	I
100 - 250	Se rompe con más de 3 golpes de picota	Alta	12	II
50 - 100	Se rompe con 1 – 3 golpes de picota	Media	7	III
25 - 50	Se indenta superficialmente la punta de la picota	Baja	4	IV
< 25	Se indenta profundamente la punta de la picota	Muy baja	2	V

Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Geología 2014.

4.3.1.6. Cálculo de *RMR (Rock Mass Rating)*

Se realiza un ejemplo práctico de cálculo de *RMR* basado en los 5 parámetros fundamentales:

1. Resistencia compresiva:

Utilizando martillo de geólogo la muestra se rompe con dos golpes fuertes entonces el valor aproximado de la resistencia es entre 100-250 MPa y ubicamos en la tabla del Cuadro 7 la resistencia compresiva de acuerdo a esta damos una valoración=12.

2. Cálculo de *RQD*:

Como no tenemos testigo utilizamos la fórmula de Palmstrom.

$$RQD = 115 - 3.3 J_v; \text{ si } J_v < 4.5 \Rightarrow RQD = 100$$

Para J_v = se cuenta las discontinuidades en un metro lineal en sus tres dimensiones, cada metro³.

Se contó con 9 discontinuidades por m³.

$$RQD = 115 - 3.3 (9)$$

$$RQD = 85.3\%$$

Se ubica *RQD* en la tabla del Anexo 7 y se da una valoración de 17.

3. Espaciamiento:

Se observa que 0.2 m a 0.6 m, según tabla del Anexo 7, su valoración = 10

4. Condición de juntas:

a) Persistencia.

Es de 10-20 m, según tabla del Anexo 7, su valoración = 4

b) Apertura.

Es de 1-5 mm, según del Anexo 7, su valoración = 1

c) Rugosidad.

Ligera, según tabla del Anexo 7, su valoración = 3

d) Relleno.

Es duro < 5mm, según tabla del Anexo 7, su valoración = 4

e) Meteorización.

Ligeramente meteorizado, según tabla del Anexo 7, su valoración = 5

5. Presencia de agua:

Húmedo, según tabla del Anexo 7, su valoración = 10

Finalmente, obtenemos el resumen de los parámetros calculados (ver Cuadro 8).

Cuadro 8: Resumen de valores calculado

Parámetro	Rango de Valores	Valración
Resistencia.	25-50 MPa	12
RQD.	72.10%	17
Espaciamiento entre discontinuidades.	0.2-0.6 metros	10
Condición de juntas.		
*Persistencia.	10-20 metros	4
*Apertura.	1-5 mm	1
*Rugosidad.	Ligeramente	3
*Relleno.	< 5mm	4
*Alteración.	Ligeramente	5
Presencia de agua.	Húmedo	10
Valor Total RMR		66

Fuente: Autor de tesis.

Luego corregimos esta valoración por el valor más pésimo por seguridad.

$$RMR = 66 - 12 = 54$$

El *RMR* calculado es 54, ubicamos en la cartilla geomecánica del Anexo 8 y esta se ubica en color amarillo, tipo de roca Regular-A, clase III-A, el geomecánico puede dar otras recomendaciones de acuerdo a las características del Macizo Rocos que se encuentra en el lugar de la ejecución de la obra. Nos guiaremos para el sostenimiento de acuerdo a este cuadro.

4.3.1.7. Zonificación geomecánica de una labor

En base a la información del mapeo geomecánico y también teniendo en cuenta la información litológica estructural, se zonifica una determinada labor, según calidades de rocas. Se contornean los límites de calidades diferentes de rocas, de tal manera que, con el código de colores que están establecidos en la cartilla geomecánica, se tengan delimitadas las zonas geomecánicas. Los planos correspondientes son los que se deben colocar en el ingreso de las labores. Es como se realiza el zoneamiento geomecánico de labores, que con el transcurso del tiempo y la experiencia que está ganando los geomecánicos, esta es una actividad de rutina y cada vez más confiable.

En el ingreso a las labores se coloca en código de colores la calidad de la roca, indicando el zoneamiento de calidades en los respectivos planos. Conforme avance el minado esta información es actualizada como se puede apreciar en el plano geomecánico de una labor minera del Anexo 1.

4.3.2. Aplicaciones de la información básica

Todas estas aplicaciones pueden ser realizadas en una determinada mina, dependiendo de las características del minado. En la mina Ana María, por el momento, las aplicaciones inmediatas que tiene relevancia son:

- Definir las orientaciones favorables de las excavaciones y de los pilares rocosos para mejorar las condiciones de estabilidad de los mismos.
- Definir las aberturas máximas y tiempos de autosostenimiento de las excavaciones, que llevarán a establecer estándares de dimensiones de tajeos por calidades de roca.
- Establecer las secuencias de avance de la explotación más convenientes desde el punto de vista de la estabilidad de las excavaciones a nivel local.
- Determinar los requerimientos de sostenimiento de las labores mineras (tajeos y labores de avance), que llevarán a establecer estándares de sostenimiento en calidad y cantidad por calidades de roca.
- Seleccionar y diseñar métodos de explotación en zonas nuevas del yacimiento.
- Evaluar situaciones particulares de minado, mediante simulaciones o modelamientos numéricos, como: pilares, puentes, losas, etc.
- Apoyar a la voladura primaria.

4.4. Descripción del proceso operativo mina

Dentro de los trabajos mineros de la Unidad Económica Administrativa Ana María, se tiene labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación y viene siendo ejecutado por la Empresa Corporación Minera Ananea S.A. El acceso hacia los frentes de trabajo se realizará por una galería principal, desde donde se realizan las demás labores como inclinados, subniveles, cruceros, echaderos, entre otros los cuales se detallan a continuación:

Exploración

En esta etapa se realizan labores horizontales y verticales cuyo objetivo es llegar a las proyecciones de los mantos para su posterior desarrollo y se tienen las siguientes labores:

- Cruceros: 2.10 x 2.10 m en estéril, sobre riel.
- Estocadas: 2.10 x 2.10 m en estéril, sobre riel.
- Chimeneas: 1.20 x 1.20 m simples y 2.40 x 1.20 m de doble compartimiento.

Desarrollo

Luego que las cortadas llegan a su objetivo (mantos) se realizan labores horizontales e inclinadas siguiendo la estructura del manto y que permiten su reconocimiento y la confirmación de leyes y potencias a lo largo de su recorrido, estas labores permiten la cubicación de reservas minerales y son:

- galerías: 2.10 x 2.10 m en mineral, sobre riel.
- Inclinados: 1.80 x 1.50 m en mineral, buzamiento aproximado de 20-25°.

Preparación

Esta etapa, es realizada después o en forma paralela al desarrollo, se realizan labores horizontales que permiten la preparación de blocks de mineral que conformarán las zonas a explotación y se tiene solo uno en este tipo de labor: Subniveles 1.20 x 1.80 m en mineral.

Explotación

Es la etapa final en que se extrae en forma sistemática el recurso mineral preparado y cubicado en las zonas de trabajo llamadas “tajos”.

El método de explotación actual que se aplica en la mina Ana María es por subniveles con tajeo en retirada que es una variante del método de cámaras y pilares.

4.4.1. Ciclo de minado

El ciclo de minado básico las labores comprende: Perforación, voladura, limpieza y sostenimiento (ver Figura 12).

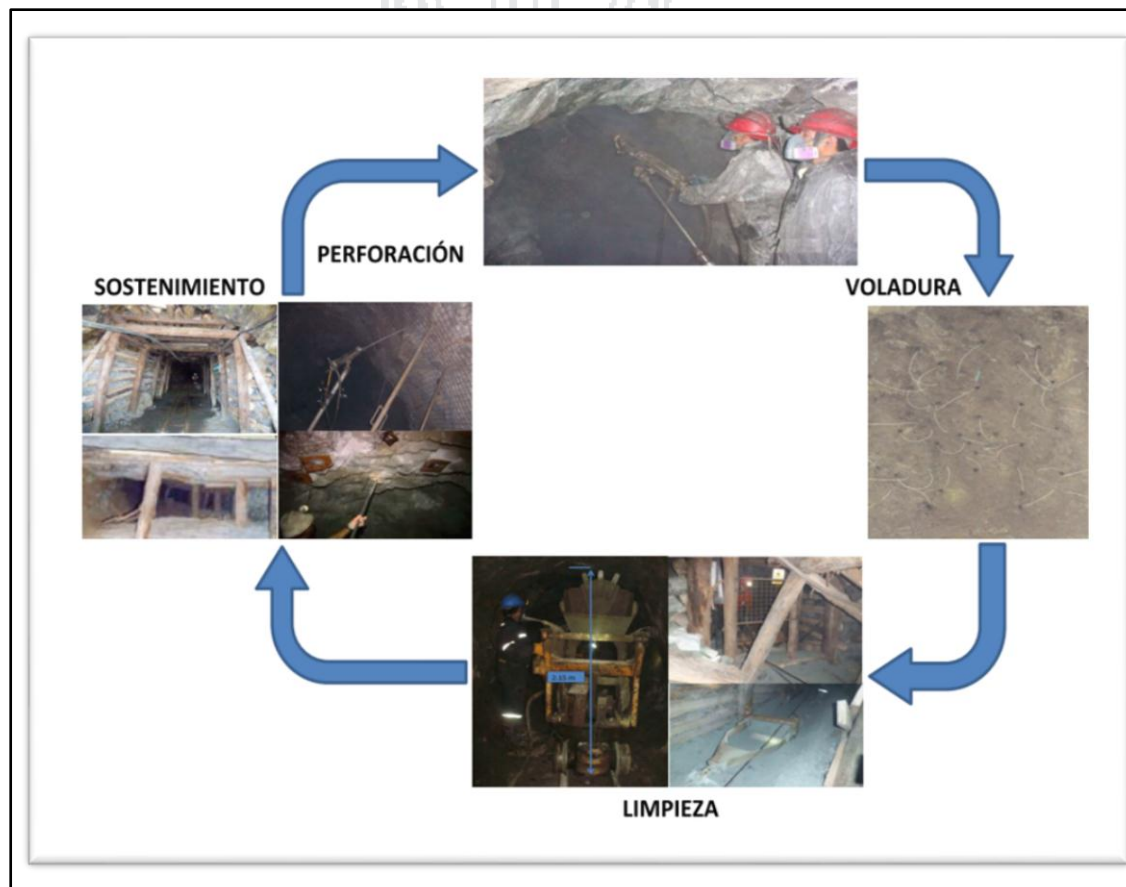


Figura 12: Esquema del ciclo de minado mina Ana María

Fuente: Autor de tesis.

Perforación:

La perforación se realiza mediante equipos de fácil transporte como las perforadoras neumáticas *Jack leg* de tipos: SECO 250, RNP (250 y la S83F), que usan barras cónicas de perforación de 2', 3', 4' y 5', con brocas de 36 y 38 mm.

Voladura:

Los explosivos y accesorios empleados en la voladura de las labores, son las siguientes:

- Dinamita Semexsa 65%, 7/8"x7".
- Dinamita Semexsa 45%, 7/8"x7".
- Fulminante N° 8.
- Mecha lenta.
- Carmex.
- Mecha rápida.

Limpieza:

Para las galerías y cruceros se realiza la limpieza de mineral/desmonte, con la pala neumática Eimco-12B, montada sobre rieles de 30 lb/yd, que cargan a los carros mineros uno a uno, los carros son empujados hacia un cambio de vía cauville, para luego ser jalados con la locomotora.

En subniveles, inclinados y tajeos la limpieza se realiza con winches eléctricos de 20, 25 y 30HP.

En las chimeneas, luego del disparo la carga cae directamente a los echaderos-tolvas, los cuales reciben el material mineral/desmonte, y luego, con apoyo de carros mineros U-35, son evacuados hacia superficie.

Sostenimiento:

El tipo de sostenimiento que se aplica en las labores, es de acuerdo a las características geomecánicas de la roca y tipo de labor, el cual se detalla en la cartilla geomecánica del Anexo 8. Como principales elementos de sostenimiento se emplean: madera (puntales de seguridad y cuadros), *split set*, malla electrosoldada con *split set*.

4.4.2. Descripción de explotación por subniveles con tajeo en retirada

Primero se apertura una galería después un inclinado luego un subnivel y del fondo se tajea en retirada. Este método consiste en dejar secciones de mineral como pilares para mantener los espacios abiertos durante la explotación. La geometría de los pilares puede ser de forma circular, cuadrada y rectangular o en largos muros paralelos. Este método es aplicado en yacimientos con buzamientos menores 30°.

Se toma en consideración uno de los factores importantes, la distribución para el tamaño de los pilares, que a su vez depende de los siguientes factores:

- Estabilidad de las cajas y mineral.
- Potencia del yacimiento.
- Presión de la roca supra yacente.
- Discontinuidades geológicas (fallas, pliegues, fracturas, etc.).
- Forma y tamaño de pilar, etc.
- Consumo de explosivos considerable.

Las labores de desarrollo son realizados a sección completa y en las labores de producción primero se realiza la voladura sobre estéril y una vez limpiado se realiza la voladura junto a mineral (circado), el manto se lleva en la caja techo o piso con el fin de mantener la estabilidad. El circado es un procedimiento en el cual se deja el manto mineralizado en el techo o en el piso. La quiebra consiste en el arranque de la mena, para este procedimiento el piso debe estar completamente limpio o tendido con una manta antes de cada disparo.

4.4.1.1. **Ventajas y desventajas del método de explotación**

Ventajas:

- El sostenimiento es mínimo, porque las cajas son altamente competentes.
- Las irregularidades del yacimiento afectan al método de explotación a la explotación.
- Costos reducidos con respecto a seguridad.
- El consumo de madera es mínimo.
- Fácil regulación de la extracción.
- Poco uso de relleno.
- Mínimos costos de ventilación.

Desventajas:

- Los pilares son difíciles de recuperar cuando se está extrayendo.
- Altos costos de perforación y voladura.
- Alta dilución del mineral.

- El rendimiento de hombre-guardia es en general moderado a bajo.
- Consumo de explosivos considerable.

En la mina Ana María, la Empresa Corporación Minera Ananea S.A., en 90% de los tajos de producción se aplica el método por subniveles con tajeo en retirada y en un 10% se aplica el método de cámaras y pilares.

En la explotación por subniveles con tajeo en retirada es una variante del método cámaras y pilares convencional en donde el mineral es arrancado por franjas horizontales y/o verticales empezando por la parte inferior de un tajo y avanzando en dirección del manto.

Cuando se ha extraído la franja completa, se rellena el volumen correspondiente con material estéril (relleno), que sirve para sostener las paredes de las cajas, y en algunos casos especiales el techo. El desarrollo de este método en la mina Ana María (ver Figura 13).

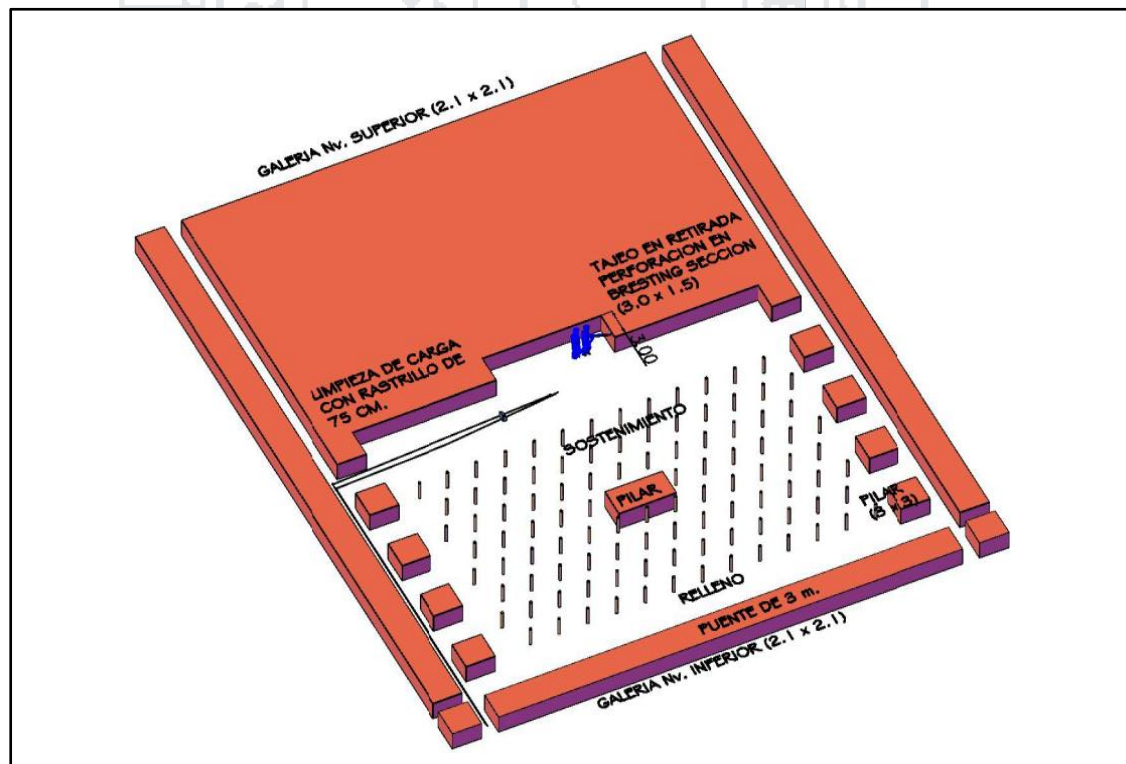


Figura 13: Esquema del método de explotación de subniveles con tajeo en retirada
Fuente: Autor de tesis.

CAPÍTULO V

EXPOSICIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Generalidades

En este capítulo, se expone el empleo de la metodología de los 7 pasos del control de la calidad y datos obtenidos de la Unidad Minera Ana María en la estandarización de los procesos de perforación y voladura en galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m, en donde se realizará el análisis de los datos y resultados en las diferentes etapas definidas de la secuencia de los 7 pasos.

En la última parte del desarrollo de este capítulo se presentará los resultados finales, interpretación y contrastación de hipótesis planteadas; así mismo se realizará la discusión del indicador longitud de avance por disparo logrado producto de la optimización en la prueba piloto Galeria 200-W, que ejecuta la empresa Corporación Minera Ananea S.A. durante los meses de Junio, Julio y Agosto del año 2014. Los indicadores que se medirán y analizarán corresponden a la prueba piloto antes mencionada.

5.2. Desarrollo del proyecto mediante la metodología de los 7 pasos

5.2.1. Paso 1: Selección del tema y definición del problema

Previamente es necesario conocer aspectos de política, organización y análisis de FODA de la empresa.

5.2.1.1. Unidad Minera Ana María: Política, Visión, Misión, Organización y FODA

Política

1. Para la Corporación Minera Ananea S.A. el recurso humano es lo más importante en todos los trabajos que se desarrollen dentro del proceso productivo.
2. La Alta Dirección de la Empresa, tiene como responsabilidad promover la protección y el bienestar de los trabajadores, preparando un lugar de trabajo seguro y eficiente.
3. Promover, desarrollar, implementar y mantener prácticas y procedimientos de trabajo seguro; capacitando, educando y concientizando proactivamente a todos los trabajadores, con el objetivo de mejorar nuestra cultura de seguridad con el lema “Todo accidente pueden y deben ser prevenidos”.
4. Cumplir los estándares fijados por las leyes, reglamentos y normas inherentes a Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente.
5. Cuidar de la salud, seguridad y medio ambiente es responsabilidad de todos los que trabajan en la U.E.A. Ana María.
6. Las buenas relaciones comunitarias, como el respeto a las poblaciones y comunidades, es necesario para el desarrollo armónico de nuestras actividades mineras.
7. Estar seguros que todos los trabajadores sean conocedores de la política de la empresa, tomen conciencia y cumplan con las disposiciones de seguridad minera, salud ocupacional y medio ambiente.

Visión

Ser la primera empresa como pequeño productor minero subterráneo de la Región, en desarrollar sus proyectos con planeamiento de corto, mediano y largo plazo, producir cumpliendo parámetros y estándares de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.

Misión

Conseguir resultados estratégicos planeados con el fin de optar la mejora continua de la empresa, respetando la cultura, tradiciones, valores de los trabajadores y de las comunidades aledañas.

Análisis organizativo de la mina

En el análisis organizativo de la empresa en realidad representa la capacidad funcional administrativa de la organización interna que difiere de una empresa a otra de acuerdo a la visión y misión y objetivos de la organización en aspectos de finanzas, relaciones internas y externas, proceso tecnológico y el crecimiento, desarrollo de la empresa básicamente del área de la mina objeto de la investigación.

La estructura organizativa general de la empresa Corporación Minera Ananea S.A. (ver Figura 14).

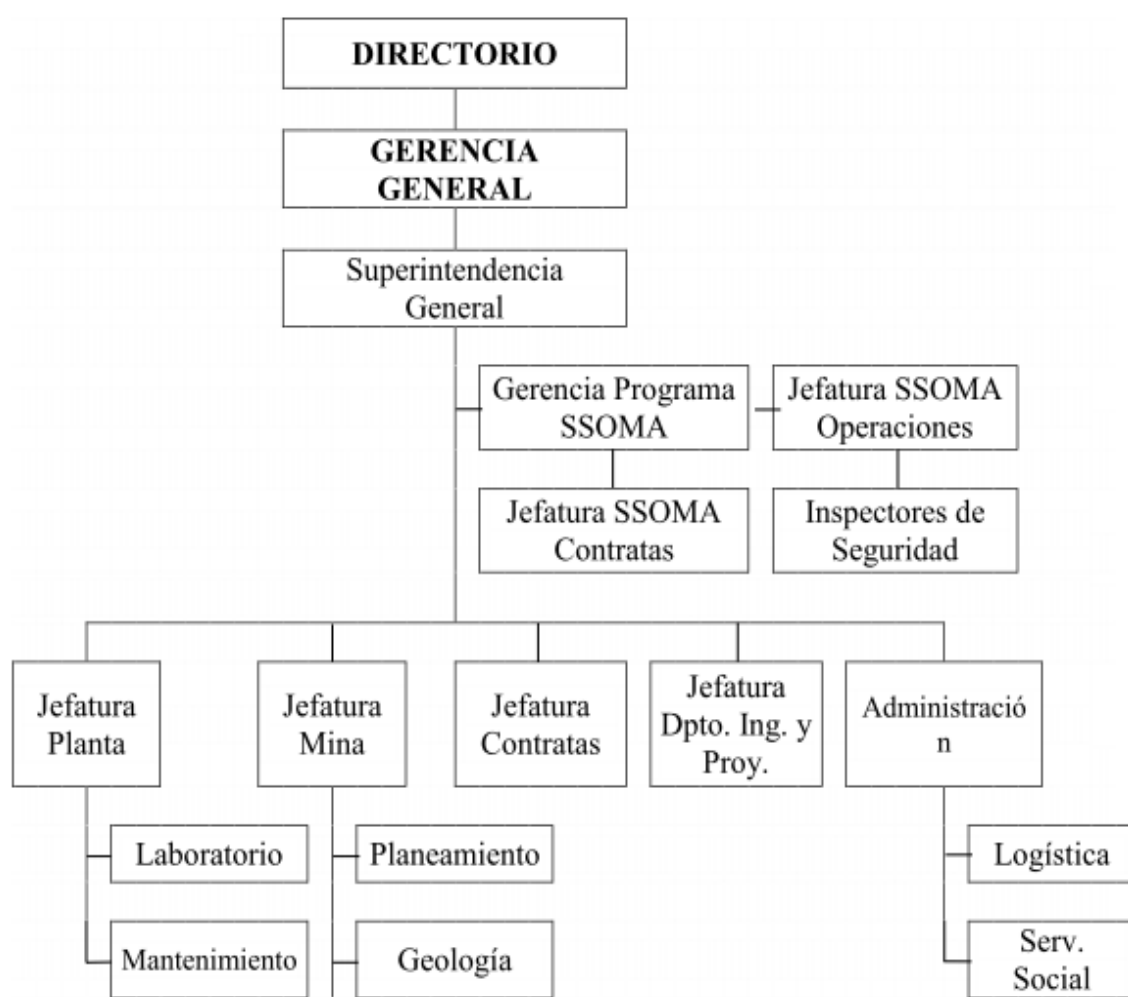


Figura 14: Organigrama general de la empresa.
 Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. – Área Seguridad 2014.

La estructura organizativa del Área de Operaciones Mina consta de un organigrama tipo horizontal, donde el jefe de mina, es el que coordina y planifica, con las áreas de geología, mantenimiento, planeamiento y jefes de guardia que a su vez coordina con el personal que realiza directamente las operaciones en mina.

La estructura organizativa del Área de Operaciones Mina (ver Figura 15).



Figura 15: Organigrama Área Mina.

Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. – Área Mina 2014.

Análisis de FODA

En la actualidad una herramienta de carácter estrategia es el análisis de FODA de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas; es decir el aspecto interno que es accesible al control por parte de los directivos y las unidades gestoras de la operación mina y el entorno cuya acción o incidencia de los resultados influyen, pero que a la vez no es posible cambiarlos pero si es posible proveerlos y resistirlos con anticipación sobre cada una de las variables.

Se ha realizado el análisis de FODA de la empresa Corporación Minera Ananea S.A., específicamente del Área de Mina, que se puede apreciar en el Anexo 9.

5.2.1.2. Tema del proyecto

En los procesos del ciclo básico de minado subterráneo, existen cuatro subprocesos fundamentales, como son la perforación, voladura, limpieza y sostenimiento, los cuales son de trascendencia a la hora de ejecutar las actividades y también son los que mayor influye en estimación de costos.

En las distintas unidades mineras subterráneas se busca constantemente maneras de mejorar y optimizar estos procesos. Sobre todo los de perforación y voladura que son los que mayor inciden en la estimación de costos.

El proceso de un ciclo de minado, lo conforman: Perforación, voladura, limpieza y sostenimiento y como producto del proceso se obtiene básicamente mineral y avance lineal, los cuales deben ejecutarse y cumplir de acuerdo a los requerimientos de los clientes internos que conforman las Áreas de Mina, Geología y Planta, quienes establecen los parámetros y calidad de estos productos. (ver Figura 16).

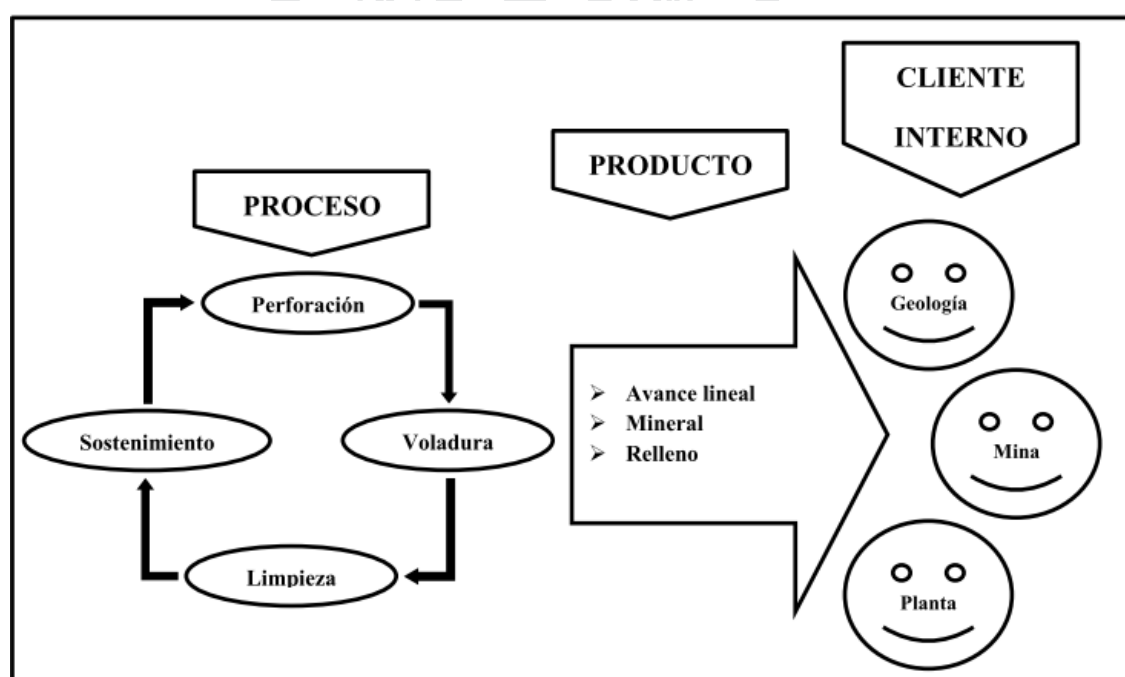


Figura 16: Esquema del proceso de un ciclo de minado.

Fuente: Elaborado en base a <http://www.estandarizacion-de-procesos.com>.

Estas actividades se realizan en los diferentes tipos de labores que se tiene y requieren ser diagnosticadas cuidadosamente para mejorar los rendimientos de trabajo y dar un uso racional de los recursos que se emplean en estas actividades, también para mejorar las condiciones de trabajo en las labores.

También, es importante conocer la característica fundamental de los procesos de perforación y voladura, sobre todo los factores que intervienen en estas: Mano de obra, método de trabajo, máquinas y servicios, materiales y herramientas y medio ambiente y seguridad (ver Figura 17).

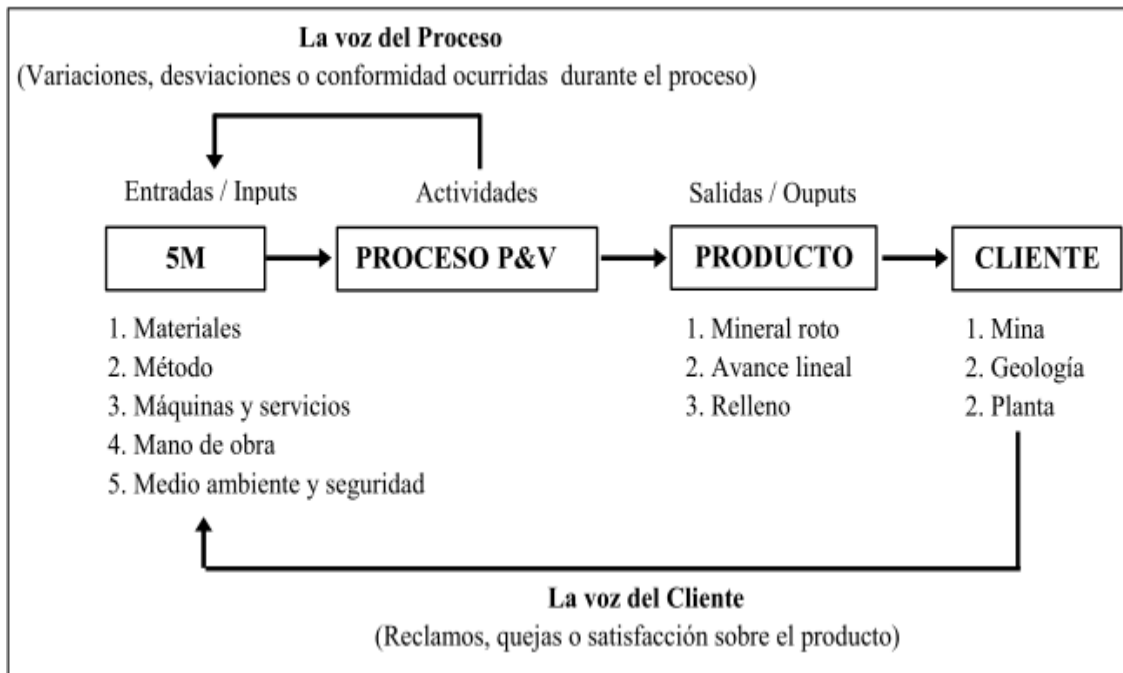


Figura 17: Esquema de caracterización del proceso de perforación y voladura

Fuente: Elaborado en base a <http://www.estandarizacion-de-procesos.com>.

En el presente proyecto se ha optado por las actividades de perforación y voladura en labores denominados galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m. La particularidad de estas labores es que desarrollan mayormente sobre estéril y la longitud de desarrollo puede abarcar hasta kilómetros esto dependiendo con qué fin se ejecutan y elaboran los proyectos. Los costos en que se incurren son mayores que en cualquier otro tipo de labor en el caso específico de la mina en estudio.

El problema en la ejecución de galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m es el bajo rendimiento de avance por disparo; se ha realizado seguimiento y control en la labor piloto Galería 200-W durante el mes de Junio del 2014 y se ha obtenido un avance promedio de 1.11 m/disparo, incumpléndose en 18% respecto al establecido de 1.35 m y la perforación se realiza con barra de 5 pies (1.52 m). La diferencia de 0.24 m representa el 26% del costo presupuestado, en tal sentido es necesario realizar un análisis de costos en función del avance presupuestado y avance real (ver Figura 18).

También, en la Figura 18, realizando un breve análisis de costos bajo las circunstancias actuales, se ha encontrado una diferencia de 44.60 US\$/m, es decir el costo con un rendimiento de avance de 1.11 m/disparo es 214.60 US\$/m y con el rendimiento de avance presupuestado de 1.35 m/disparo es 170.60 US\$/m.

Si todas las guardias tenemos el mismo resultado, en un día vamos a perder 44.60 US\$ x 2 guardias es igual a 89.20 US\$; en un mes 89.20 US\$ x 25 días es igual a 2230.00 US\$; en un año 2230.00 US\$ x 12 meses es igual a 26760.00 US\$. El pequeño análisis es solo de una labor, pero en la mina hay más de una labor de desarrollo. Razón por el cual el presente proyecto se ha titulado: “Optimización de la ejecución de galerías y cruceros en la mina Ana María mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura”.

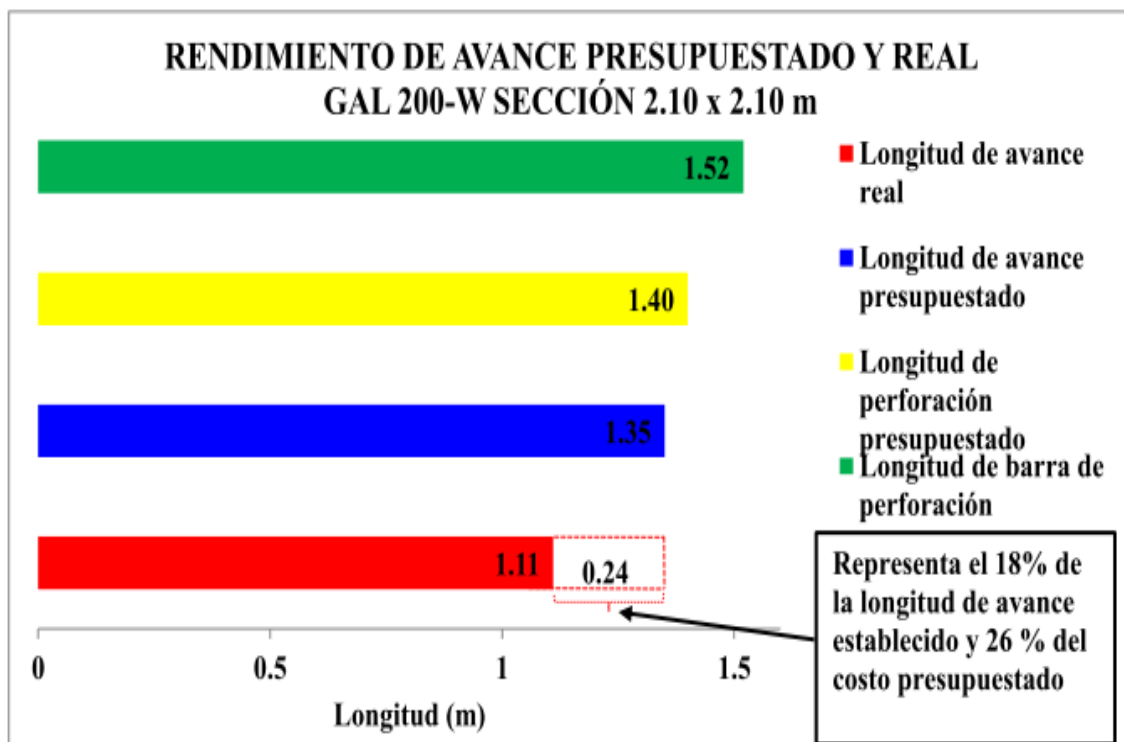


Figura 18: Gráfico del rendimiento de avance presupuestado y real.
Fuente: Autor de tesis.

5.2.2. Paso 2: Diagnóstico de la situación actual y fijar objetivos

Debido a la complejidad de las operaciones en la industria minera se debe analizar el funcionamiento del sistema de producción para poder lograr mejorar los rendimientos de trabajo. Parte de las actividades necesarias para cumplir con este objetivo tiene relación directa con el monitoreo de variables críticas del proceso.

En el caso particular del presente proyecto, nos enfocamos en el proceso clave de la producción mina, que son la perforación y voladura en frentes (galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m).

5.2.2.1. Procedimiento de perforación y voladura

Para una mejor comprensión de la situación actual del procedimiento de perforación y voladura en frentes, se ha diseñado diagramas de flujo que se pueden apreciar en el Anexo 10 y Anexo 11 respectivamente, en donde se representa la secuencia de actividades en perforación y voladura desde un inicio hasta el final del proceso en la situación actual.

5.2.2.2. Indicadores de diagnóstico de los procesos de perforación y voladura

A continuación, se presenta un cuadro de resumen del control de indicadores de perforación y voladura de la prueba piloto Galeria 200-W en la situación inicial del proyecto, que servirá de base para comparar los cambios y/o variaciones a lo largo del periodo de tiempo del desarrollo del presente proyecto que se puede apreciar en el Anexo 12, del cual realizaremos el análisis del comportamiento de los indicadores claves en perforación y voladura utilizando la herramienta gráfica de control lineal:

En el gráfico de la Figura 19, se puede observar, que el indicador número de taladros perforados se encuentra prácticamente fuera de control estadístico a lo largo del período de tiempo que se está analizando, puesto que en 5 ocasiones se sale fuera de los límites de control del proceso.

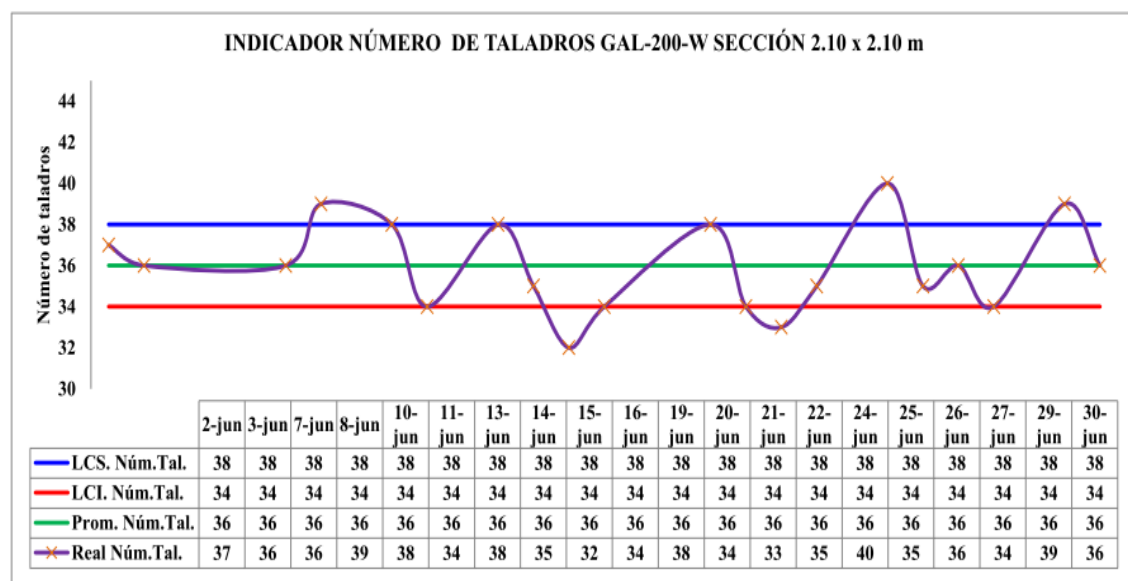


Figura 19: Gráfico del indicador número de taladros.

Fuente: Autor de tesis.

En el gráfico de la Figura 20, se observa un comportamiento estable del indicador longitud de perforación durante el tiempo de estudio.

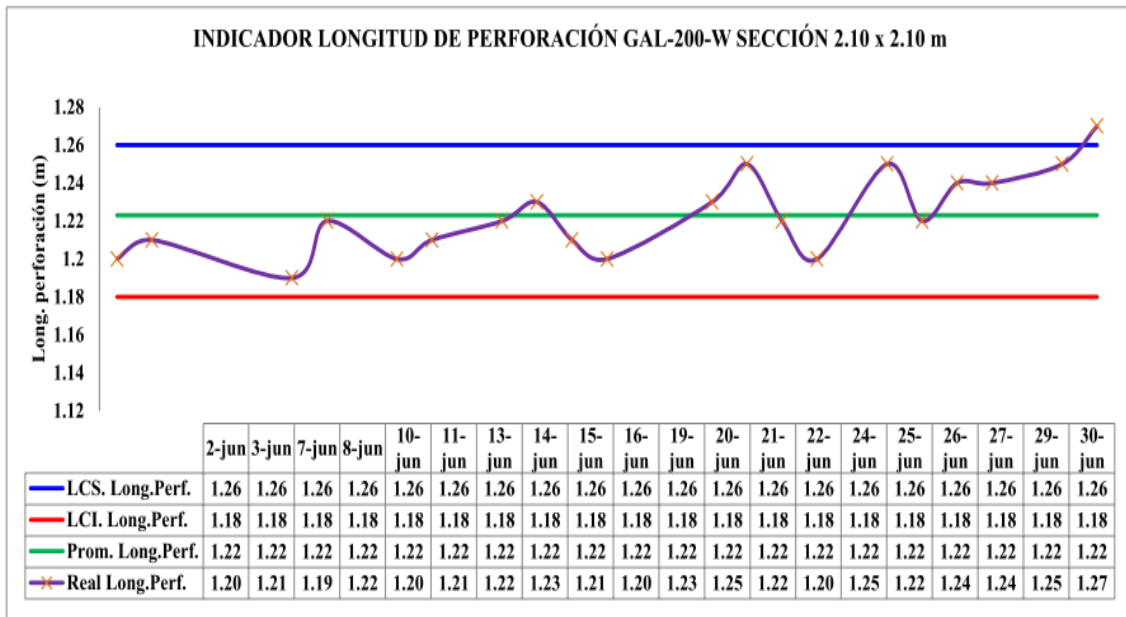


Figura 20: Gráfico del indicador longitud de perforación.

Fuente: Autor de tesis.

En el gráfico de la Figura 21, se observa que el indicador longitud de avance, se mantiene trabajando dentro de los límites de control. En ese sentido, existen algunos datos puntuales que se escapan de estos límites, pero la desviación es muy menor.

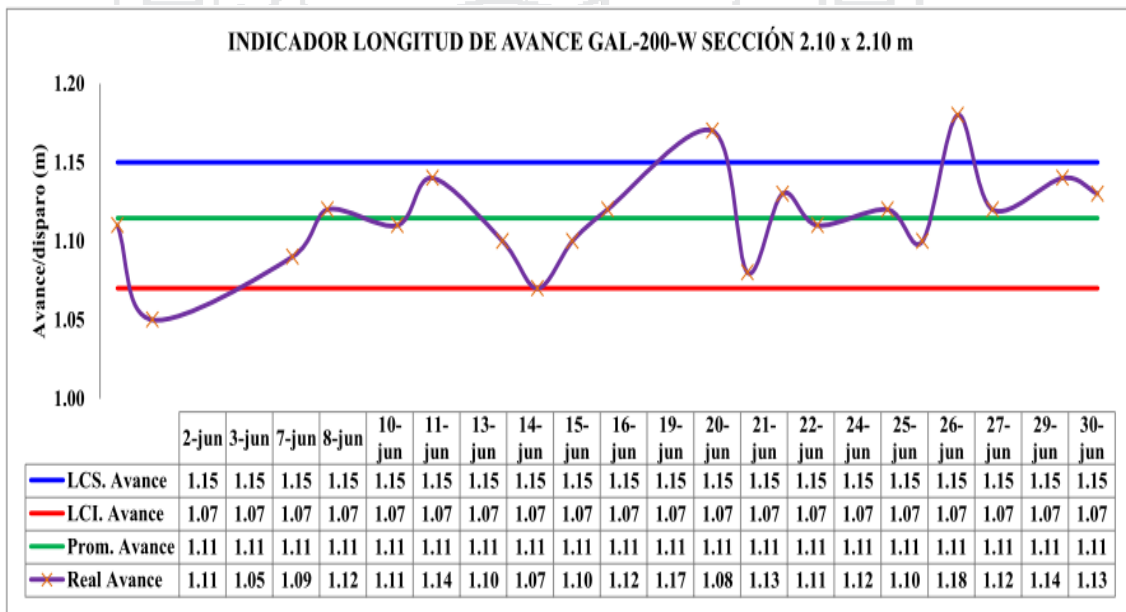


Figura 21: Gráfico del indicador longitud de avance.

Fuente: Autor de tesis.

En el gráfico de la Figura 22, se observa que, el comportamiento del indicador consumo de explosivo traspasa los límites de control que el proceso en sí es capaz de lograr. Claramente se deduce que este indicador se encuentra fuera de control.

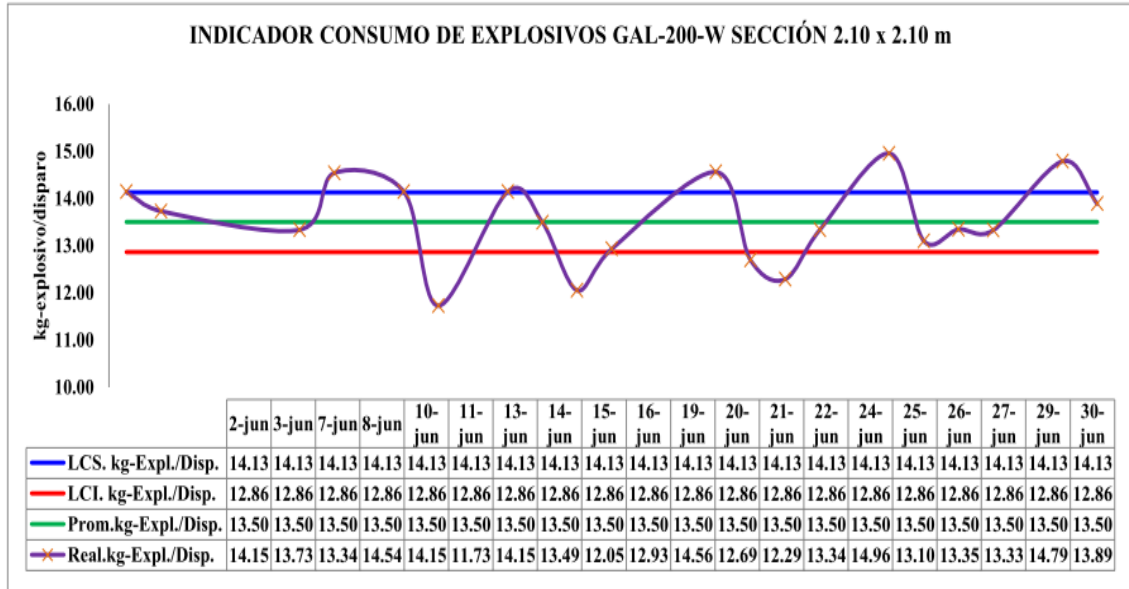


Figura 22: Gráfico del indicador consumo de explosivo.
Fuente: Autor de tesis.

En el gráfico de la Figura 23, se puede observar que el indicador factor de carga, se encuentra fuera de control, donde el proceso se desvía de los límites de control de manera constante a través del tiempo y es una variable crítica.

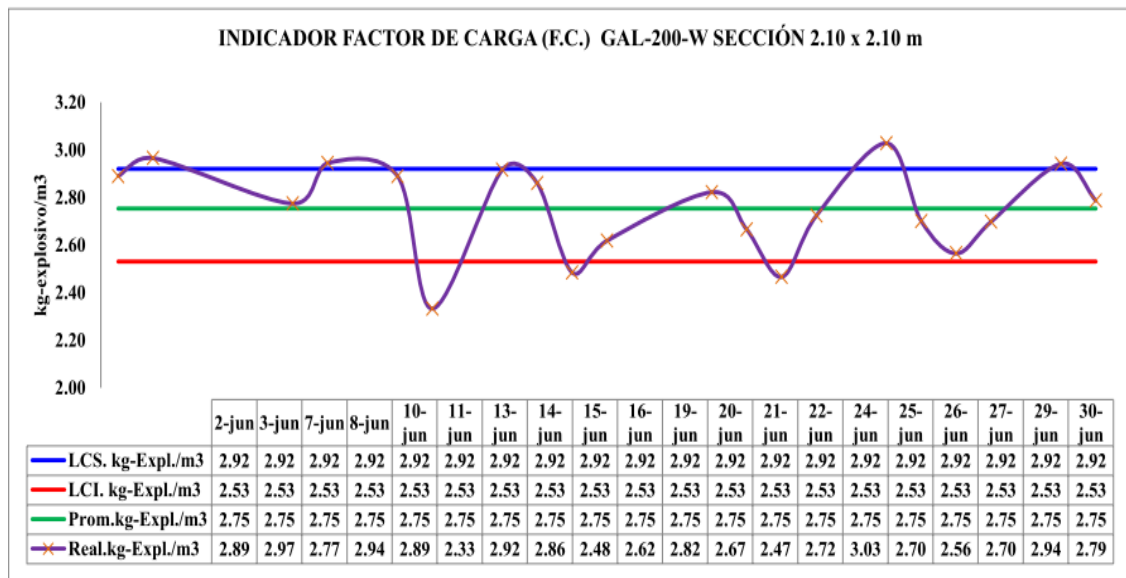


Figura 23: Gráfico del indicador factor de carga.
Fuente: Autor de tesis.

5.2.2.3. Análisis de costos de operación

En el caso del presente proyecto, se ha realizado un análisis de costos operativos, mediante la elaboración de una estructura de costos en función del rendimiento de avance promedio de 1.11 m/disparo en la situación inicial.

Para efectos del cálculo se ha considerado las siguientes variables:

a) Costos variables directos

- Salarios de personal obrero.
- Herramientas y materiales.
- Explosivos y accesorios.
- Costo horario de equipo de perforación.

b) Costos fijos indirectos

- Staff de empleados (Ing. de seguridad, Ing. de guardia, capataz, Insp. de seguridad, bodegueros, mecánico).
- Implementos de seguridad para empleados.

El costo operativo actual de la ejecución de las labores de galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m es de 214.60 US\$/m., el detalle se puede apreciar en el Anexo 13.

5.2.2.4. Defectos en los procesos de perforación y voladura

Para una mejor comprensión del listado de los factores y defectos que intervienen en los procesos de perforación y voladura, se ha elaborado una hoja de verificación y/o *checklist* que se puede apreciar en el Anexo 14.

A continuación se detalla los factores y defectos que se presentan en los procesos de perforación y voladura:

1. Método de trabajo:

- Falta de marcado de la malla y sección: No se realiza este paso clave del proceso de perforación y no se tiene diseños y/o plantillas de trazos de malla de perforación y voladura para diferentes tipos de roca.

- Falta de control del paralelismo y longitud de taladros: No hay un adecuado control del paralelismo por no utilizar juego completo de guidores y plataforma de perforación o variabilidad en la inclinación de los taladros y no hay uniformidad en la longitud de taladros.
- No uso de taco inerte: No se realiza este paso clave del proceso de voladura, que permite asegurar la retención de la energía de la detonación del explosivo en el taladro.
- Falta de zonificación geomecánica de labores: No se realiza zonificación geomecánica de labores oportunamente y tampoco se zonifica todas las labores, siendo esta una actividad clave apoyar la voladura primaria.
- Supervisión deficiente: Falta mayor control de la supervisión en los frentes de perforación.
- Exceso de carga: Se detectó que a los taladros se les cargaba a más 75% de la columna explosiva y sin distribuir la carga según la función que cumple cada tanda o fila de taladros a disparar. Esto lo realizaban creyendo que así “se aseguraba obtener un buen disparo”, y por la falta de conocimiento por parte de la supervisión encargada. Siendo lo adecuado cargar en promedio las 2/3 partes de la columna explosiva y distribuir la carga en los taladros según la secuencia de salida y función que cumple cada tanda de taladros.

2. Mano de obra:

- Personal poco calificado: El personal no está capacitado suficientemente en lo referente a las técnicas de perforación y voladura
- Rotación de personal: Falta de estabilidad del personal en una labor; estos rotan de una labor a otra constantemente, es más, los perforistas de tajo rotan a los frentes y chimeneas y visversa, teniendo en cuenta que en minería subterránea los perforistas se clasifican en “frentistas”, “tajistas” y “chimeneros”.
- Actitud negativa: Es la actitud negativa del personal hacia los cambios o mejoras; algunos trabajadores realizan su trabajo solo por cumplir, no les interesa la calidad del trabajo.
- Malas maniobras con equipo: Es lo referente a las posturas incorrectas con la máquina de perforación que no ayudan a realizar adecuadamente el trabajo e incluso expone al personal a sufrir daños durante la operación de equipos.

- Atascamiento de barras: Durante la perforación se presentan atascamiento de barreno y ocasiona paralizaciones durante el proceso.
- Incumplimiento de procedimientos: El personal incumple los procedimientos y no realiza adecuadamente los trabajos y se exponen a peligros.

3. Materiales y herramientas:

- Barrenos desgastados: Barras de perforación que han cumplido su vida útil y no se cambian oportunamente.
- Juego incompleto de barrenos: No se cuenta con juego completo de barrenos en cada labor minera.
- Falta de brocas: En cuanto a aceros de perforación, es el acero que más se consume.
- Falta de guidores/atacadores: Estas herramientas indispensables para la perforación y voladura, por el uso diario se deterioran rápidamente y a veces no se proveen oportunamente. Tampoco se lleva un adecuado control y cuidado de estas herramientas.
- Falta de sacabarreno: Esta herramienta básica para extraer los barrenos plantados, no está implementado en las labores.

4. Máquina y servicios:

- Presión baja de aire/agua: Hay insuficiente presión de aire/agua en interior mina, básicamente porque los equipos denominadas compresoras que producen aire, han cumplido su vida útil y han disminuido sus rendimientos y hay déficit de aire comprimido para realizar perforación simultánea en las labores, y se tiene que ciclar el aire.
- Máquina o equipo en mal estado: Las máquinas se malogran o fallan constantemente por falta de mantenimiento preventivo y otros por obsoletos.
- Disponibilidad de máquinas: En ocasiones no se cuenta con máquinas perforadoras disponibles en cada labor, y se tiene que trasladar una máquina para realizar la perforación en varias labores. También no hay máquinas en *stand by*.
- Falta de manguera de aire/agua: Estos materiales no están implementadas en cada labor minera y se tienen que trasladar de una labor a otra.

- Fugas de aire/agua: En algunas zonas del sistema de instalaciones de aire/agua se presentan fugas que ocasionan pérdida de presión.
- Exceso de empates en las instalaciones de aire/agua: Es lo referente a las mangueras de aire/agua que presentan muchos empates y se ocasionan pérdidas de presión.
- Deficiencia de ventilación: Esto se presenta principalmente en labores de desarrollo en donde no se ventila tiempo suficiente o no se tiene un adecuado sistema de ventilación.

5. Medio ambiente y seguridad:

- Terreno fracturado/panizado: Se presentan zonas en donde el terreno es fracturado y en ocasiones hasta panizado.
- Presencia de agua: También se presentan zonas con presencia de agua por las características propias de cada zona.
- Mal desatado de labor: El personal muchas veces no realiza un desatado adecuado de rocas sueltas en su labor. Esto genera la exposición a pérdidas por caída de rocas.

5.2.2.5. Control de defectos en los procesos de perforación y voladura

El control de los defectos que se presentan en los procesos de perforación y voladura, se lleva en la hoja de verificación y/o *checklist*, en donde se registra la frecuencia de la ocurrencia de los defectos que sirvan para medir y analizar los problemas. El registro de datos en la hoja de verificación, se puede apreciar en el Anexo 15, en donde se clasifica ordenadamente la ocurrencia de los defectos.

Para identificar y evaluar los problemas que se presentan en los procesos de perforación y voladura, es necesario llevar un adecuado sistema de control de los problemas, que se han clasificado en la hoja de verificación antes mencionada.

En la prueba piloto, se ha realizado una simulación de la frecuencia de ocurrencia de los defectos en los procesos de perforación y voladura, que nos permitirá medir, evaluar y analizar las causas raíz del problema de bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros (ver Cuadro 9)

Cuadro 9: Resumen control de defectos en los procesos de perforación y voladura

MES	jun-2014	
FACTOR	OCURRENCIA	TOTAL
Método de trabajo	Falta de pintado de mallas/sección de labor	20
	Falta de control de paralelismo	15
	Falta de control de longitud de taladros	12
	Falta de zonificación geomecánica de labor	9
	Exceso de carga	9
	No uso de taco inerte	7
	Falta de coordinación/comunicación	4
	Supervisión deficiente	3
Total método de trabajo		79
Máquina y servicios	Presión baja de aire/agua	16
	Maquina o equipo en mal estado	11
	Disponibilidad de máquina/equipo	8
	Exceso de empates en las instalaciones de aire/agua	5
	Fugas de aire/agua	4
	Deficiencia de ventilación	2
	Falta de manguera de aire/agua	2
Total máquina y servicios		48
Mano de obra	Incumplimiento de procedimientos	19
	Poca experiencia (personal poco capacitado)	10
	Rotación de personal	6
	Actitud indebida	4
	Atascamiento de barreno	3
	Malas maniobras	2
Total mano de obra		44
Materiales y herramientas	Falta de guidores/atacadores	15
	Barrenos desgastados	8
	Juego incompleto de barrenos	5
	Falta de brocas	3
	Falta de cucharilla	2
	Falta de pintura	2
	Falta de barrenera (saca barrenos)	1
	Falta de gamarrilla	1
Total materiales y herramientas		37
Medio ambiente y seguridad	Mal desatado de labor	4
	Terreno fracturado/panizado	3
	Presencia de agua	0
Total medio ambiente y seguridad		7
Total general		215

Fuente: Autor de tesis.

Así mismo, se ha llevado a cabo, el control de los disparos fallados, que también son factores importantes a tener en cuenta, puesto que también se generan por fallas que se presentan en los procesos de perforación y voladura e influyen en el bajo rendimiento de avance por disparo. (ver Cuadro 10).

Cuadro 10: Control de voladuras deficientes

MES	jun-14	
LABOR	GAL-200-W	
TIPO DISPARO DEFICIENTE	N° OCURRENCIAS	N° TALADROS RECARGADOS
Desquinche	5	6
Tacos > 0.10	5	
Tiro anillado	1	28
Tiro cortado	4	4
Tiro soplado	2	61
Total general	17	99

Fuente: Autor de tesis.

5.2.2.6. Objetivos

Objetivo principal:

Incrementar el rendimiento del avance por disparo en un mínimo del 15%, es decir el resultado actual es 1.11 m/disparo y se ha trazado llegar mínimamente a 1.28 m/disparo.

Objetivos específicos:

- Generar labores seguras, sin riesgos, interrelacionando los procesos de perforación, voladura y los estándares operativos.
- Establecer una mejora sustancial de los índices de gestión de productividad en perforación y voladura, tales como: Número de taladros, longitud de perforación, longitud de avance, consumo de explosivo y factor de carga.
- Reducir costos operativos.

El objetivo final de todo este trabajo es conocer, cuantificar y mejorar los indicadores más relevantes de los procesos de perforación y voladura.

5.2.3. Paso 3: Planear actividades

En nuestro proyecto se definieron primero los objetivos fundamentales, para luego elaborar un plan de actividades y plantear estrategias y tácticas para el logro de ellos.

Es importante indicar que el plan elaborado es un proceso de mejora continua y que fue importante delegar responsabilidades para su cumplimiento de manera efectiva.

El cronograma de actividades para el desarrollo del presente proyecto, se ha elaborado haciendo el uso de la herramienta diagrama de Gantt, donde se detalla cada etapa del proyecto y su ejecución, el mismo que se puede apreciar en el Anexo 16.

Los responsables de la ejecución, del seguimiento y control de cada paso del proyecto de mejora, están a cargo del personal del Área de Operaciones Mina.

5.2.4. Paso 4: Análisis de causas

Debido a que el rendimiento de avance por disparo es bajo (1.11 m) en 18% en relación al planificado y/o presupuestado (1.35 m), es necesario entender cuáles son las causas que pueden estar afectando sus resultados.

Dentro de la gestión operacional existen instancias claves que sirven para dar continuidad al proceso operativo. Por otro lado, en base a observaciones realizadas durante la ejecución de la operación también fue posible distinguir temas claves para el correcto desarrollo de las actividades y el éxito de éstas. Para ello se realizó un taller de *brainstorming* con las personas que participan directamente del proceso, en este caso perforistas de frentes, jefes de guardia, capataces, planificadores mina, con la finalidad de identificar los principales focos que generan el bajo rendimiento de avance por disparo en los frentes (galerías y cruceros).

Se ha elaborado un diagrama de causa-efecto, donde se representa de manera ordenada la relación entre el efecto y/o problema (bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros) y todas las posibles causas que lo influyen, tal como se puede apreciar en el Anexo 17.

Con los datos del Cuadro 9, se ha simulado y determinado el grado de incidencia de los factores críticos de los procesos de perforación y voladura en las causas atribuibles al bajo rendimiento de avance por disparo, empleando la herramienta diagrama de Pareto y se ha podido medir y determinar los causantes del problema específico del bajo rendimiento de avance por disparo en la ejecución de galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m. y también la identificación de las causas raíz de los problemas:

En la Figura 24, de Pareto obtenido, se observa que aproximadamente el 80% de la criticidad del bajo rendimiento de avance en galerías y cruceros, se deben a debilidades en los factores:

- Método de trabajo con un 37%.
- Máquinas y servicios con un 22%.
- Mano de obra con un 21%.

Siendo estos factores, en las que debemos de enfocarnos primero en resolver.

Claramente se puede visualizar, que centrándose y brindando dar acciones correctivas en las primeras tres causas identificadas en el análisis causal, se estaría eliminando y/o minimizando el 80% del problema del bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros. Con lo anterior, y realizando el análisis entre dichas causas, nos enfocaremos en tres grupos a analizar.

También, del gráfico de la Figura 24, se deduce que, el método de trabajo es un “factor crítico” y es el primero en que debemos avocar en dar las soluciones.

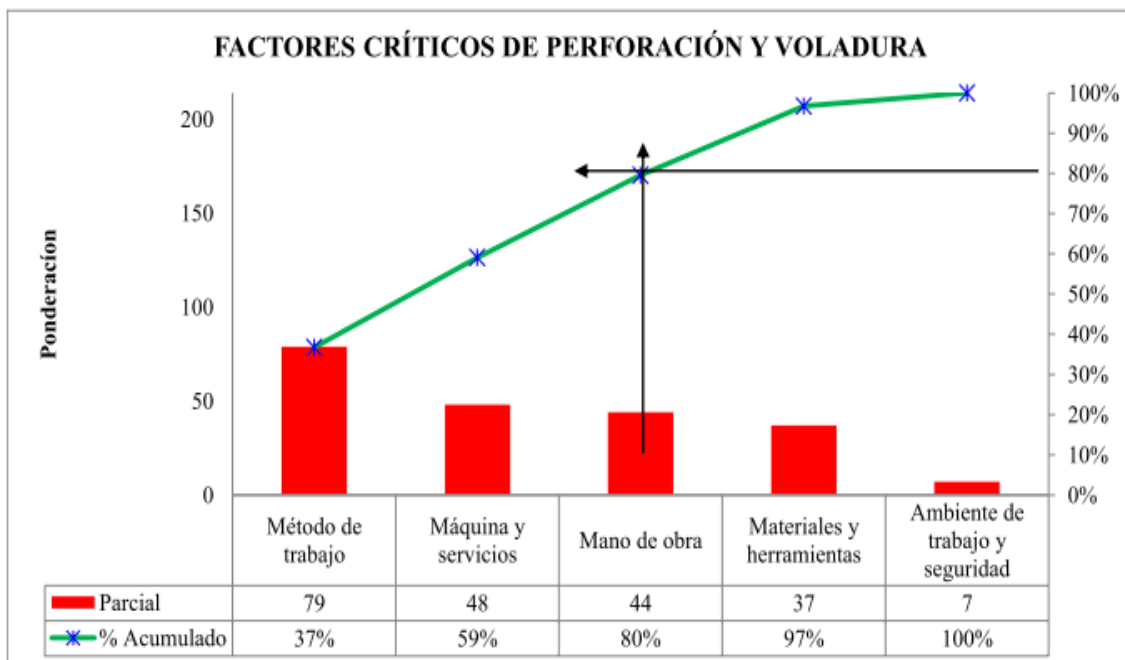


Figura 24: Diagrama de Pareto factores críticos de los procesos de perforación y voladura.

Fuente: Autor de tesis.

Para el factor método de trabajo, de la Figura 25, se ha determinado cinco actividades críticas tales como:

- Falta de pintado de malla y sección del frente a perforar.
- Falta de control de paralelismo de taladros.
- Falta de control de longitud de taladros perforados.
- Falta de zonificación geomecánica de labores.
- Exceso de carga.

La principal causa raíz del factor método de trabajo es la falta de estándares de trabajo para los procesos operativos de perforación y voladura claramente definidas y establecidas, por el cual el personal de cada guardia involucrado en estas actividades realiza los trabajos a su manera sin un criterio técnico.

Por lo tanto es de prioridad gestionar el método de trabajo actual mediante la implementación de estándares de trabajo para los procesos operativos de perforación y voladura, en donde se especifique claramente las pautas y parámetros técnicos para la realización de estas actividades.

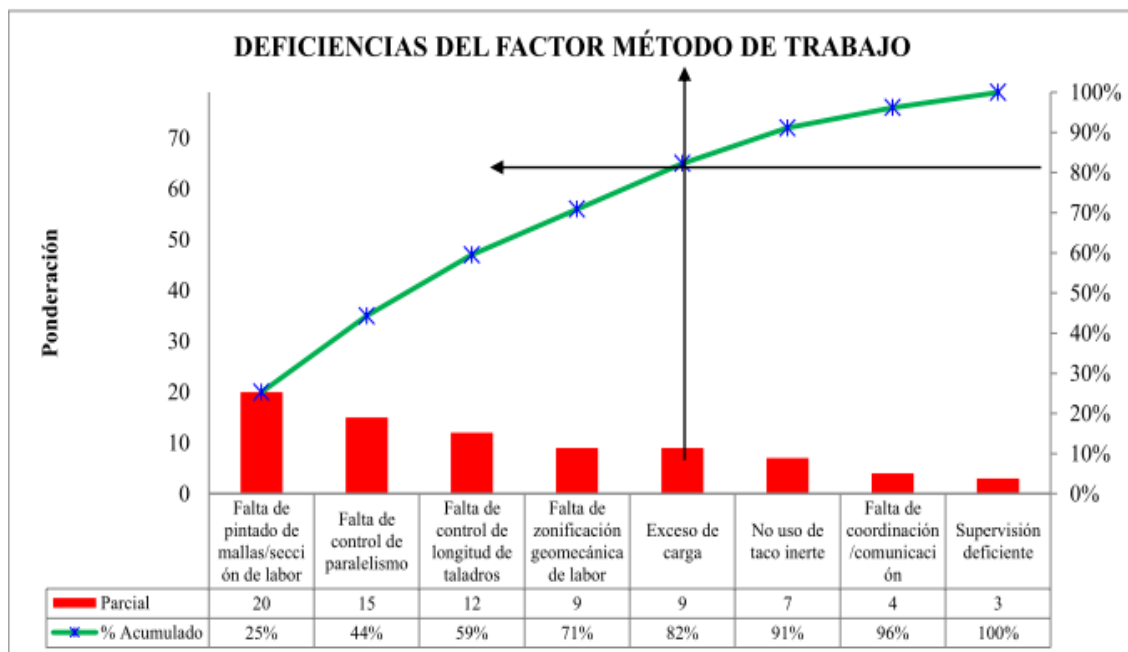


Figura 25: Diagrama de Pareto de las deficiencias en el factor método de trabajo
Fuente: Autor de tesis

Para el factor máquinas y servicios, de la Figura 26, no es difícil notar que tenemos cuatro actividades críticas, los cuales son:

- Presión baja de agua/aire.
- Máquina o equipo en mal estado.
- Disponibilidad de máquina/equipo.
- Exceso de empates en las instalaciones.

Estas son las causas más influyentes del factor máquinas y servicios en el problema del bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros y las principales causas raíz de estas deficiencias, respectivamente son:

- Falta de capacidad de compresoras y falta de mejora de la instalación del circuito de aire comprimido y agua.
- Falta de planificación y mantenimiento preventivo de equipos.
- Máquinas obsoletas y falta de repuestos.
- Instalaciones defectuosas de mangueras de agua/aire.

Sumado a estas deficiencias es el mantenimiento deficiente de equipos.

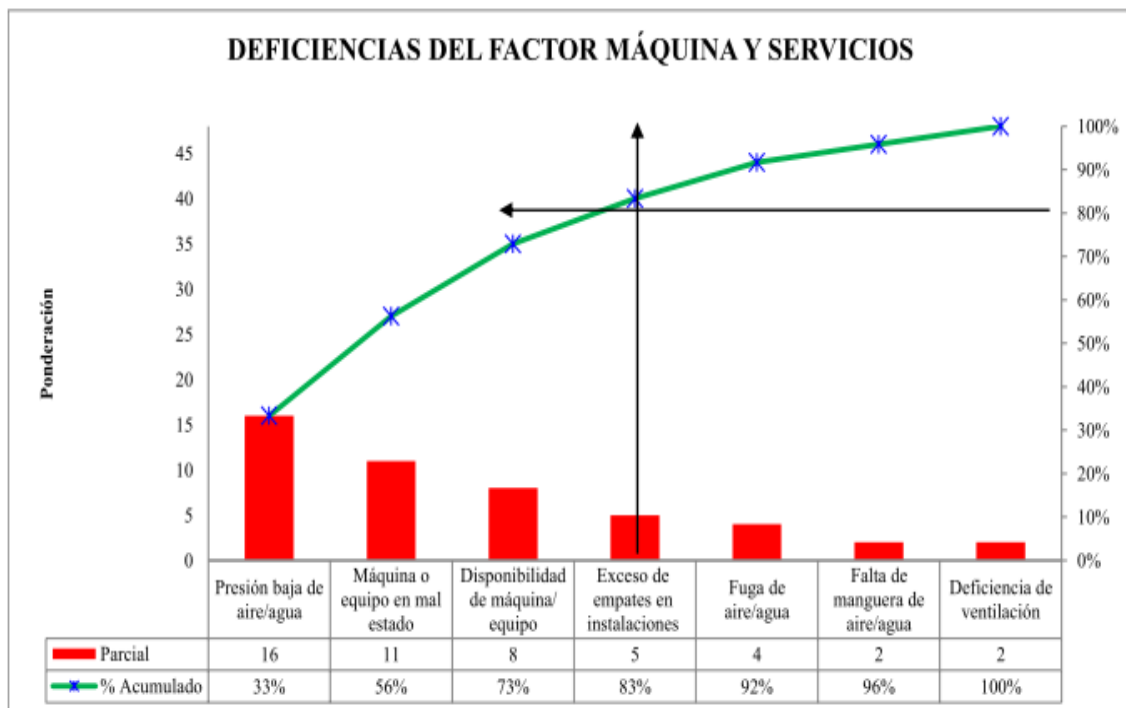


Figura 26: Diagrama de Pareto de las deficiencias en el factor máquinas y servicios.
Fuente: Autor de tesis.

Para el factor mano de obra, de la Figura 27, determinamos que tenemos tres actividades críticas, los cuales son:

- Incumplimiento de procedimientos.
- Personal de poca experiencia.
- Rotación.

Las causa raíz de estas actividades críticas, respectivamente son:

- La poca difusión de los procedimientos de trabajo al personal de mina.
- Falta de capacitación en técnicas de perforación y voladura.
- Alta rotación del personal.

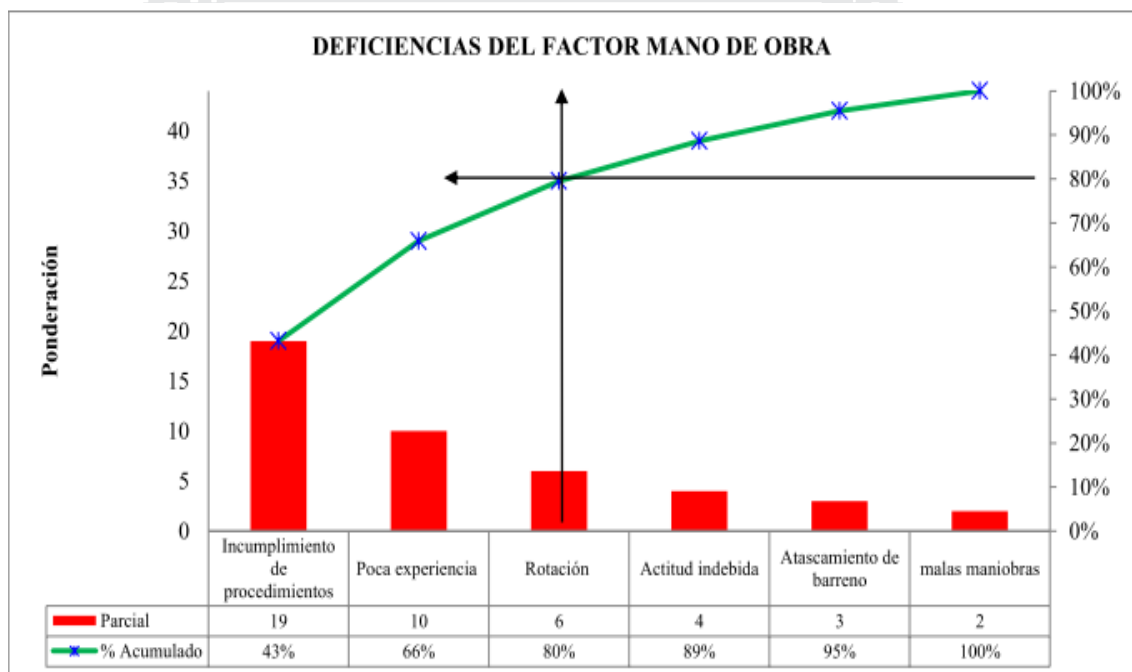


Figura 27: Diagrama de Pareto de las deficiencias en el factor mano de obra
Fuente: Autor de tesis.

5.2.5. Paso 5: Implementación de contramedidas

Una vez identificada la situación actual de los problemas, su medición y análisis, se ha confeccionado una tabla de propuesta de contramedidas a implementar, que se puede apreciar en el Anexo 18, en donde se presenta los problemas identificados críticos y su causa raíz en los procesos de perforación y voladura en frentes, por el cual no se puede lograr resultados óptimos y/o requeridos. También en esta tabla se detalla ¿qué hacer frente a cada causa raíz de los problemas?, ¿quién es el responsable de ejecutarlo? y el plazo en que debe ser realizado y/o ejecutado las contramedidas.

5.2.5.1. Contramedidas a implementar

Causas N° 1. Falta de pintado de malla y sección de labor. No se realiza este paso clave del proceso de perforación.

Contramedida para la causa N° 1

Implementar estándares de perforación y voladura, que indique las pautas y procedimientos claros para la realización de las actividades de perforación y voladura; así mismo que especifique las plantillas de perforación y voladura para varios tipos de roca, sobre el cual se realice el presupuesto, y según estos diseños se deben realizar el pintado de la malla y sección de la labor.

Se presenta un estándar de perforación y voladura en galerías y cruceros 7'x7' implementada en la Unidad Minera Ana María, que se puede apreciar en el Anexo 19. El pintado de un frente, según malla de perforación estándar. (ver Figura 28).

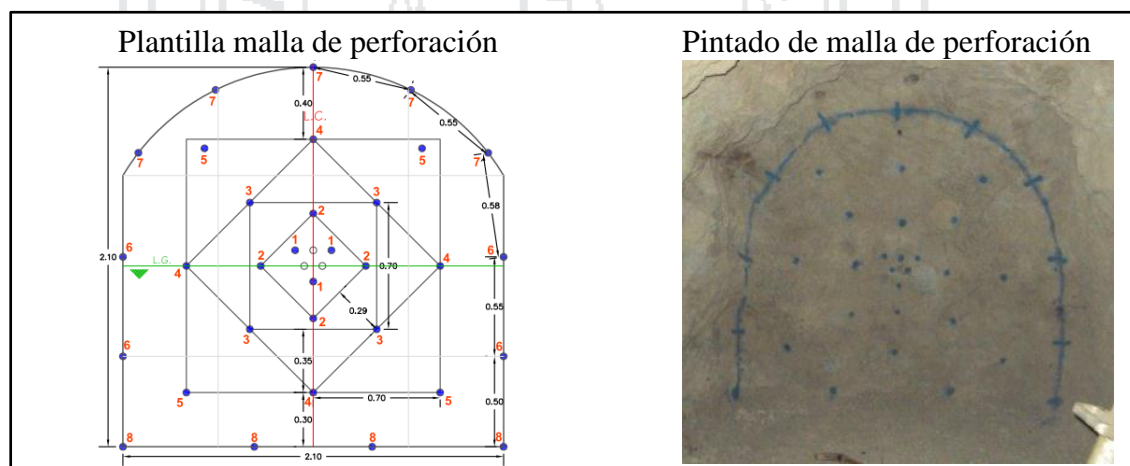


Figura 28: Esquema del pintado de la malla de perforación

Fuente: Informe de visita técnica U.M. El Cofre-EXSA 2010.

La técnica de perforación está directamente relacionado a la demarcación o delimitado de la malla de perforación (pintado de los puntos de perforación que conforman la malla de perforación). La demarcación de los puntos a perforar asegura que el espaciamiento y el burden sean uniformes y adecuados, además de que permite delimitar la sección a perforar y que la carga explosiva y su energía se distribuyan de manera uniforme (ver Figura 29). Además el pintado de la malla ayuda a la fácil y rápida perforación de taladros. Los responsables de la realización del pintado de malla son los perforistas y supervisores que llegan a un frente de perforación.

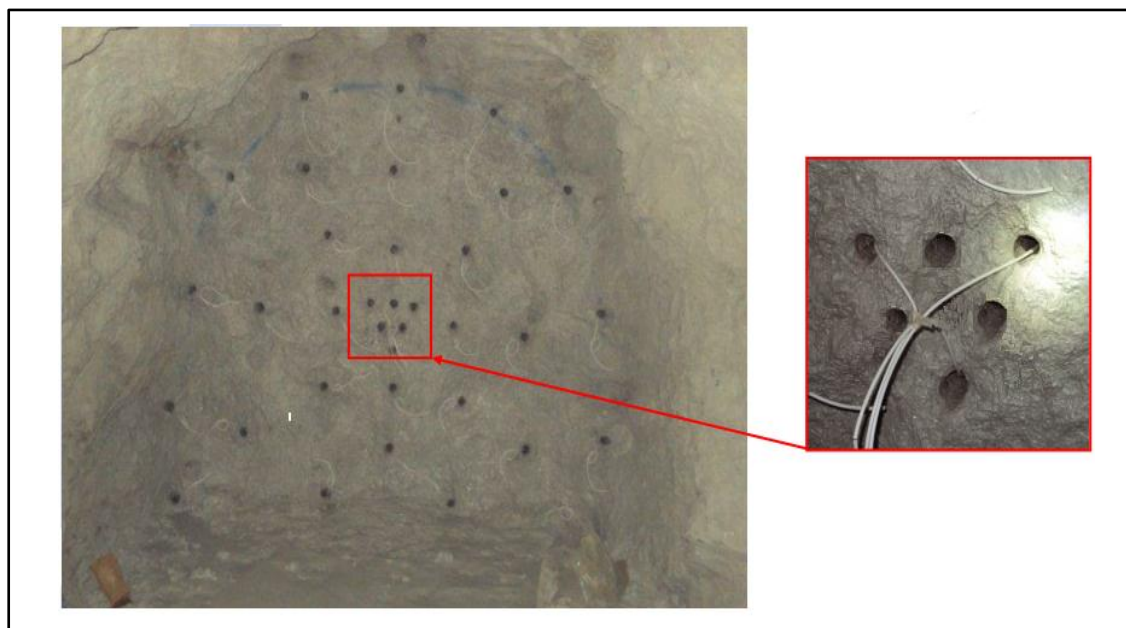


Figura 29: Esquema de perforación según el pintado de malla.

Fuente: Informe de visita técnica U.M. El Cofre-EXSA 2010.

Causas N° 2. Falta de control del paralelismo. No se realiza un adecuado control del paralelismo y se origina desviación de los taladros.

Contramedida para la causa N° 2

Implementar estándares de perforación y voladura y exigir el uso obligatorio y correcto de los guidores y plataforma durante la perforación de los taladros.

Un adecuado control del paralelismo implica el uso del juego mínimo de 3 guidores y evitar variaciones en la inclinación de los taladros (ver Figura 30).

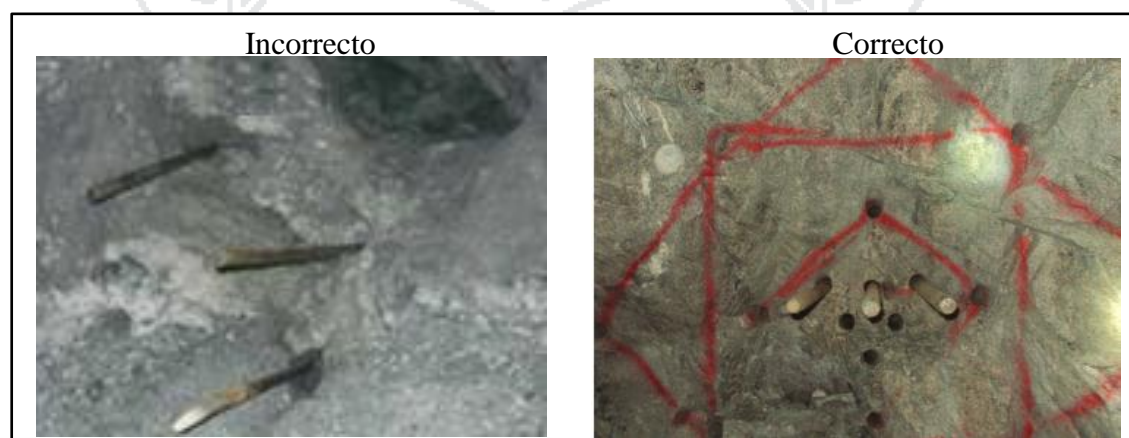


Figura 30: Esquema del control de paralelismo de los taladros.

Fuente: Autor de tesis.

Causas N° 3. Falta de control de la longitud de taladros. La falta de control de la longitud de los taladros perforados ocasiona que no se perfora la longitud establecida y no haya uniformidad de la longitud de los taladros.

Contra medida para la causa N° 3

Implementar estándares de perforación y voladura, y realizar mayor control y seguimiento de la longitud de los taladros perforados (ver Figura 31).



Figura 31: Esquema del control de longitud de los taladros.

Fuente: Autor de tesis.

También es necesario llevar un estricto control de perforación y voladura en campo, registrando los parámetros in situ en el formato de perforación y voladura que se puede apreciar en el Anexo 20.

El reporte a diario debe ser realizado por el jefe de guardia en coordinación con los perforistas de labor y supervisores de primera línea, con este formato se mejorará considerablemente en cuanto al control de la longitud de perforación y de toda la malla de perforación; puesto que este formato debe ser entregado a la guardia siguiente para su respectiva evaluación de la voladura, así de esta forma se localizará los problemas tales como desviación de taladros, carguío deficiente de taladros, excesivo uso de material explosivo, inadecuado trazo del burden y espaciamiento, la no utilización de guidores, etc. El registro de perforación y voladura en campo, también se puede apreciar en el Anexo 21.

Causas N° 4. Exceso de carga. Hay irracional consumo de explosivos por inadecuada distribución de carga explosiva en los taladros. Se realiza el carguío de taladros sin criterio técnico.

Contramedida para la causa N° 4

Implementar estándares de perforación y voladura, donde se especifique las plantillas de carguío de taladros para varios tipos de roca y longitud de taladros. A continuación se presenta un modelo estándar de carguío de taladros en frentes implementada en la Unidad Minera Ana María (ver Figura 32).

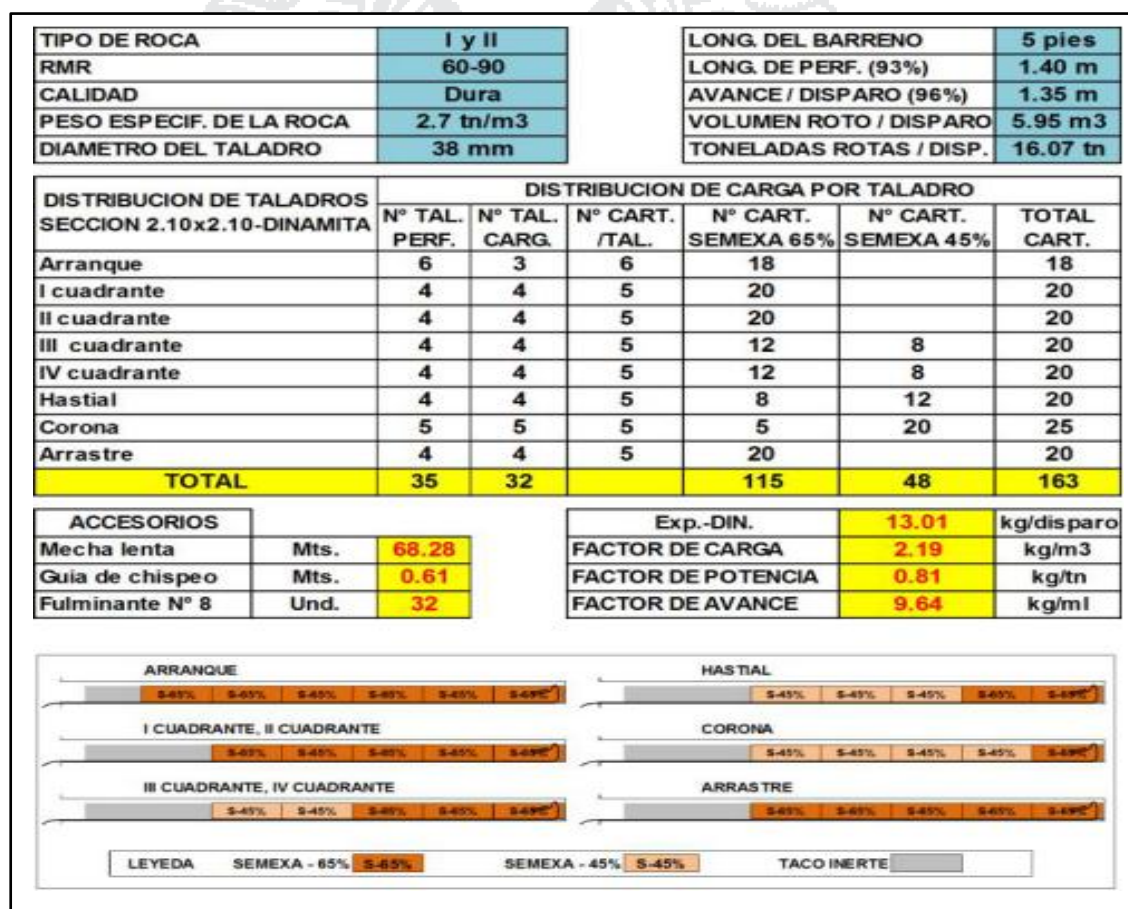


Figura 32: Esquema de la distribución de carga estandarizada.
 Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Mina 2014.

El uso racional de explosivos en el carguío de taladros se ve reflejado en el cálculo del factor de carga, que es un indicador clave del proceso de voladura, que nos permite, identificar las variaciones o desviaciones en cuanto al consumo de explosivos por disparo. El control del cálculo del factor de carga in situ, se registra en el formato de perforación y voladura.

Causas N° 5. No uso de taco inerte. No se utiliza taco inerte durante el retacado de taladros.

Contramedida para la causa N° 5

Implementar estándares de perforación y voladura, donde se establezca esta pauta clave del proceso de voladura y se dé cumplimiento por parte de los involucrados en este proceso.

El efecto de confinamiento adecuado se logra al colocar un taco o tapón de material inerte en la boca del taladro para sellar la carga explosiva y del acoplamiento.

Un material anguloso y menudo, bajo la acción de los gases tiende a formar un arco de compactación que se ajusta a la pared del taladro, incrementando su capacidad de “resistencia” a la eyección, como por ejemplo el detritus de la perforación que se emplea como taco inerte (ver Figura 33).



Figura 33: Esquema de taco de detritus.

Fuente: Autor de tesis.

Causa N° 6. Falta de zonificación geomecánica de labores. No se realiza oportunamente el mapeo geomecánico en las labores y solo se realiza en algunas labores.

Contramedida para la causa N° 6:

El área de geología debe dar énfasis en la zonificación geomecánica oportuna de labores, para apoyar a la voladura primaria. Puesto que las plantillas de perforación y voladura se diseñan de acuerdo a las características geomecánicas de cada zona y/o labor minera y estas deben mantenerse actualizadas oportunamente. Por ello es necesario tener actualizados los planos geomecánicos de cada labor minera.

Actualmente la geomecánica es la herramienta de ingeniería de vital importancia aplicado en los procesos mineros como perforación, voladura y sostenimiento.

La geomecánica, resulta esencial para llevar a cabo un adecuado planeamiento y control de los índices de gestión como el factor de carga (kg./m³, kg./tn, kg./m), propiedades índices de rocas, parámetros geomecánicos, etc. Es fundamental considerar una serie de variables que influyen en el control de los procesos de perforación, voladura y sostenimiento.

Causa N° 7. Supervisión deficiente. Falta mayor control de la supervisión en los frentes de perforación.

Contramedida para la causa N° 7:

Mejorar la supervisión y seguimiento en los frentes de perforación, realizando mayor control de la malla de perforación y brindando asesoría técnica permanente al personal de perforación. También se debe impartir órdenes claras de trabajo por parte de los supervisores de línea.

Las coordinaciones, observaciones y recomendaciones verbal de los supervisores también deben estar registradas detalladamente en los cuadernos de obra de labor (ver Figura 34).

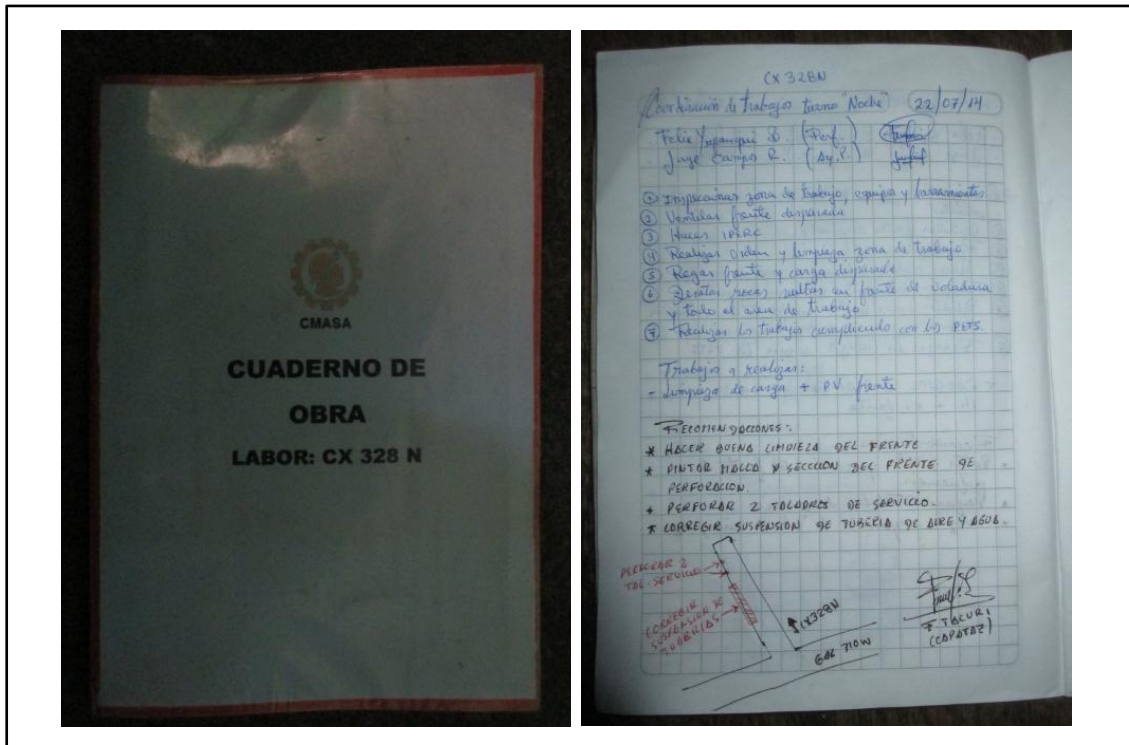


Figura 34: Esquema del cuaderno de obra de labor.
Fuente: Autor de tesis.

Causa N° 8. Falta de guidores, atacadores, cucharillas. No hay un adecuado control y distribución de herramientas por labor.

Contramedida para la causa N° 8:

Mejorar el control y distribución de las herramientas de trabajo en las labores mediante un mayor control y seguimiento por parte de los bodegueros y supervisores.

Causa N° 9. Barrenos desgastados, falta de brocas. Hay poco control de la asignación de aceros en las labores y vida útil.

Contramedida para la causa N° 9:

Mejorar el sistema de control de los aceros de perforación, tanto en interior mina, almacén y oficina mina.

Un adecuado control de aceros de perforación, no solo implica controlar la distribución de aceros en cada labor, sino también llevar el control de la vida útil de los aceros, esto a fin de estimar los presupuestos (ver Cuadro 11).

Cuadro 11: Control aceros de perforación

Control Aceros de Perforación										
MES	ago-14									
NIVEL	LABOR	Perforación		Aceros					Vida Util	
		# Taladros perforados	Pies perforados	Broca 38 mm	Barreno 2'	Barreno 3'	Barreno 4'	Barreno 5'	Vida util brocas (Pp)	Vida util barrenos (Pp)
Nv. 4833	S/N-330 E-W	808	4040	9		5		5	449	808
Nv. 4995	S/N-865 E-W	592	2960	12		4		4	247	740
Nv. 4995	TJ-710 E-W	1056	5288	66	4		5		331	1175
Nv. 4945	TJ-850 E-W	868	4340	11		4		3	395	1240
Nv. 4945	CX 328 N	1928	9640	25		9		10	386	1015
Nv. 4833	S/N-325 E-W	1234	6170	19		5		6	325	1122
Nv. 4995	TJ-990 E-W	1192	5960	15		7		5	397	993
Nv. 4995	INC-932	1202	6010	11		8		7	286	801
Nv. 4945	CH 950	1008	4032	12	4		4		336	1008
Nv. 4995	GAL 200-W	1994	9970	26		11		12	383	867
Total General		11882	58410	166	8	53	9	52	353	997

Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Mina 2014.

Causa N° 10. Incumplimiento de procedimientos de trabajo. El personal incumple los procedimientos de trabajo por falta de conocimiento por la poca difusión de los procedimientos escritos de trabajo seguro (PETS).

Contramedita para la causa N° 10:

Realizar mayor difusión y concientización de los procedimientos a los trabajadores de operación mina, mediante la implementación de estos procedimientos en cada labor minera y facilitar a cada trabajador de mina.

Es de vital importancia la difusión de los procedimientos y estándares de trabajo a los trabajadores; ya que estas herramientas ayudan a la correcta realización de un trabajo y minimizan la ocurrencia de accidentes (ver Figura 35).

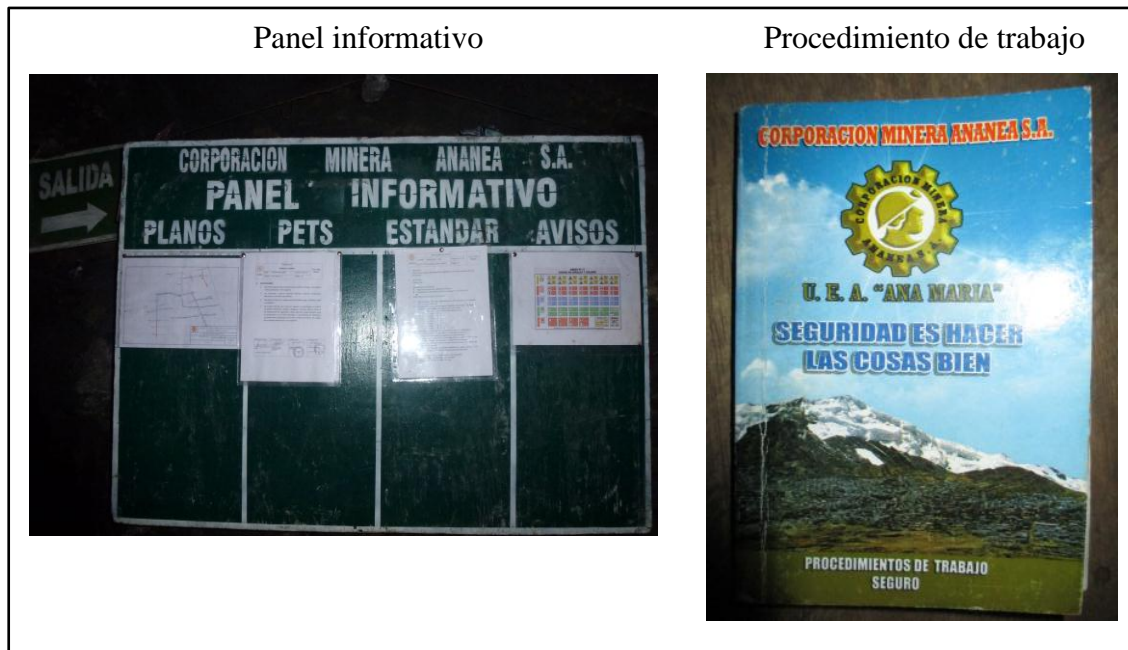


Figura 35: Esquema del Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS).
Fuente: Autor de tesis.

Causa N° 11. Poca experiencia. El personal es poco calificada en técnicas de perforación y voladura.

Contramedida para la causa N° 11:

Impulsar la capacitación continua al personal de mina en temas referido a perforación y voladura, tanto teórica como práctica, ya que es un tema elemental dentro del proceso productivo mina.

Todo proceso de mejora, va de la mano con la capacitación continua, de esta manera se llega a lograr los objetivos que se persigue.

La capacitación debe ser planificada y programada de acuerdo a las necesidades de cada área de trabajo. El modelo de capacitación del personal en una empresa minera, según área de trabajo se puede apreciar en el Anexo 22.

Causa N° 12. Rotación de personal. Hay alta rotación del personal de una labor a otra; rotan cada 5 días; es más el perforista de tajo rota a frentes y chimeneas, teniendo en cuenta que en minería subterránea los perforistas se clasifican en “tajistas”, “frentistas” y “chimeneros”.

Contra medida para la causa N° 12:

Se debe seleccionar el personal perforista de acuerdo al tipo de labor y evitar la permanente rotación del personal.

Es muy importante la selección del personal, teniendo en cuenta sus cualidades de desenvolvimiento en un trabajo específico. Además se debe llevar un adecuado control de la distribución del personal por labor. El modelo de la distribución de personal en mina, se puede apreciar en el Anexo 23.

Causa N° 13. Presión baja de aire/agua. Hay deficiencia de presión de aire para perforación por poca capacidad de producción de aire de las compresoras que no abastece óptimamente a las labores que se trabajan.

Contra medida para la causa N° 13:

Adquirir compresoras, tuberías de mayor diámetro y pulmones para garantizar una adecuada presión de aire comprimido requerida en labores de interior mina.

El suministro de aire comprimido es indispensable en una operación minera subterránea donde los equipos trabajan por accionamiento neumático, como las perforadoras neumáticas requieren una presión de aire mínimo de 70 PSI para realizar adecuadamente el proceso de perforación de rocas.

Causa N° 14. Mal estado de máquinas. Las máquinas perforadoras presentan constantemente fallas durante la perforación, porque hay máquinas obsoletas que han cumplido su vida útil y se siguen utilizando y otro aspecto es que no se realiza el mantenimiento preventivo de equipos, solo correctivo.

Contra medida para la causa N° 14:

Se debe descartar las máquinas obsoletas y mejorar el sistema de planificación y mantenimiento preventivo de equipos, mediante la elaboración de un programa de mantenimiento de equipos. Además se debe llevar estricto control y seguimiento del cumplimiento de este programa. El modelo del programa de mantenimiento de equipos mina, se puede apreciar en el Anexo 24.

Causa N° 15. Mal desatado de labor. Constantemente se presenta este tipo de incidente en las labores que ocasionan retrasos en los trabajos.

Contrameditada para la causa N° 15:

Se debe dar mayor impulso en la capacitación in situ a los trabajadores sobre la evaluación del macizo rocoso y correcto desatado de rocas sueltas en las labores por parte del personal supervisor de cada guardia.

5.2.5.2. Nuevos procedimientos de perforación y voladura a implantar

Es necesario dar a conocer un adecuado procedimiento de trabajo para las actividades de perforación y voladura, que pueda facilitar a realizar estas actividades de una manera más eficaz y contribuir con la obtención de resultados consistentes.

Los nuevos procedimientos de perforación y voladura a implantar se representan mediante el diseño de diagramas de flujo, que se puede apreciar en el Anexo 25 y Anexo 26, en donde se muestra la secuencia sistemática a seguir durante las actividades de perforación y voladura en frentes, el cual permitirá mejorar la realización de estas actividades.

5.2.5.3. Actualización de los mapas de funciones

Al realizar acciones de mejora en los procesos mina, es necesario actualizar los mapas de funciones y responsabilidades de los encargados que dirigen y controlan los procesos operativos en mina.

Por ello se ha diseñado mediante diagramas de flujo estos mapas a fin de llevar un adecuado sistema de control de los procesos de perforación y voladura y de todo el ciclo de minado. Los mapas de funciones y responsabilidades para una adecuada gestión de los procesos mineros, se puede apreciar (Anexo 27, Anexo 28,...,Anexo 35).

5.2.6. Paso 6: Verificación de resultados

La evaluación de resultados del proyecto se realizó a través del análisis comparativo de la información registrada en los gráficos de control antes y después de la ejecución del proyecto; esta información evidenciará las variaciones de los indicadores de gestión de productividad en perforación y voladura.

A continuación, se presenta el cuadro de control de indicadores de perforación y voladura de la prueba piloto Galería 200-W, luego de haber implementado las contramedidas en el quinto paso del proyecto, el cual se puede apreciar en el Anexo 36.

Luego se procede a realizar el análisis de los indicadores de perforación y voladura, teniendo como línea base el promedio ponderado de los indicadores analizadas en la situación inicial, haciendo el uso de la herramienta de gráficos de control lineal, al igual que en el paso 2:

En el gráfico de la Figura 36, se puede apreciar que el indicador número de taladros perforados por disparo tiene un comportamiento estable durante el tiempo de estudio.

El promedio del número de taladros del mes de Junio era de 36 taladros y en el presente mes se obtuvo un promedio de 35 taladros, se disminuyó en 01 taladro.

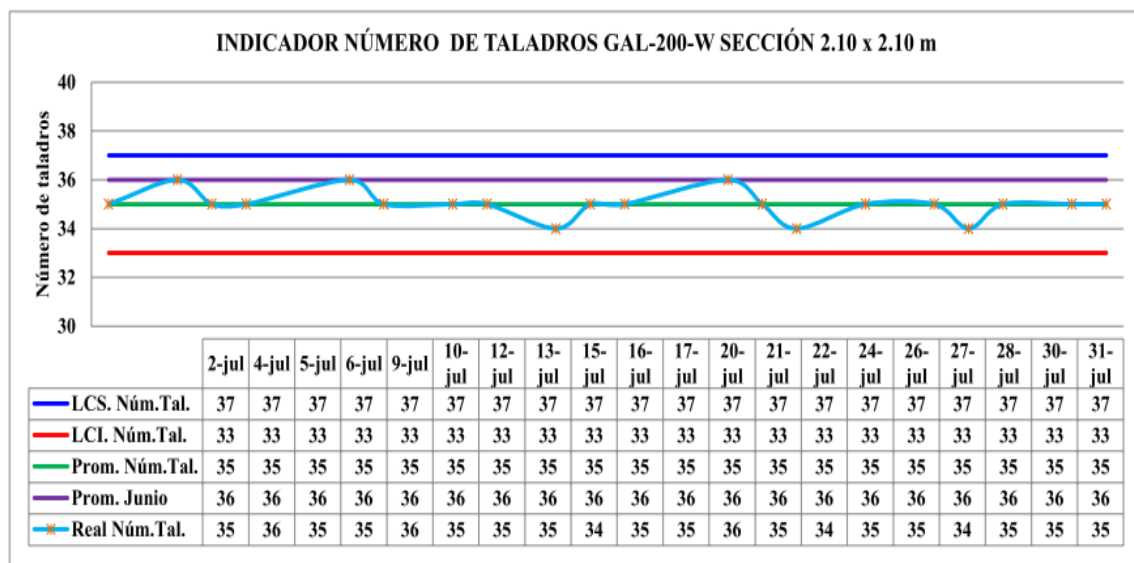


Figura 36: Gráfico del indicador número de taladros mes julio.
Fuente: Autor de tesis.

En el gráfico de la Figura 37, al igual que en la figura anterior, se aprecia que el indicador longitud de perforación, se mantiene estable dentro de los límites de control.

También se observa que la longitud de perforación promedio en el mes de Junio fue de 1.22 m y en el presente mes de 1.37 m, obteniéndose una mejora de 0.15 m.

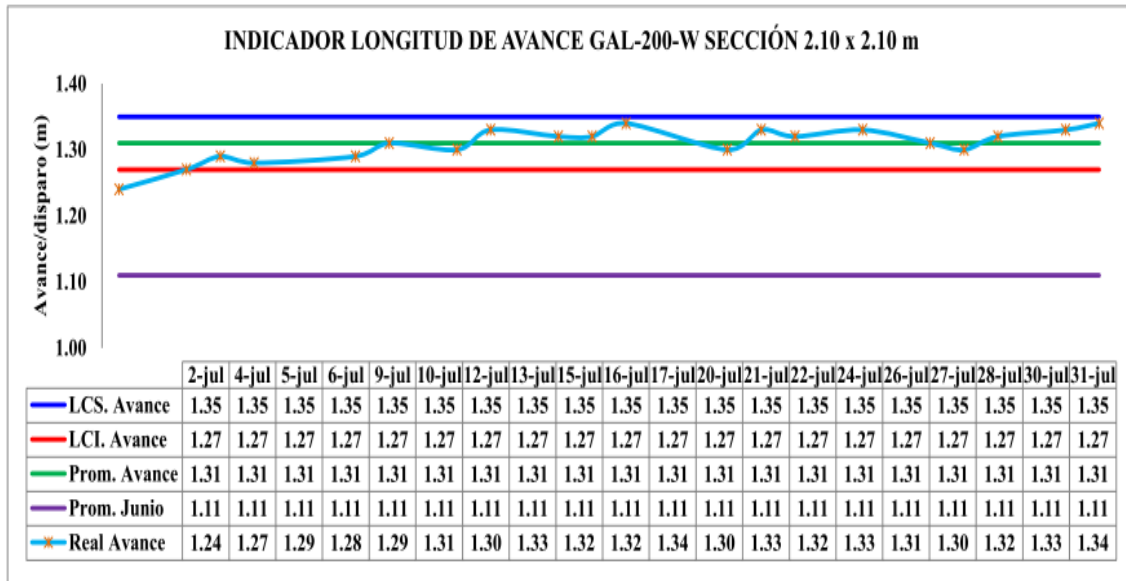


Figura 37: Gráfico del indicador longitud de perforación mes julio.
Fuente: Autor de tesis.

En el gráfico de la Figura 38, se observa claramente un comportamiento estable del indicador longitud de avance y/o rendimiento de avance, que además es el problema principal y se ha trazado una meta de mejora mínima de 15%. Se aprecia una notable mejoría de este indicador, ha incrementado en 0.20 m equivalente al 18% con respecto al mes de Junio donde el promedio del rendimiento de avance fue de 1.11 m/disparo y en el mes Julio durante el presente mes se obtuvo rendimiento de avance promedio de 1.31 m/disparo.

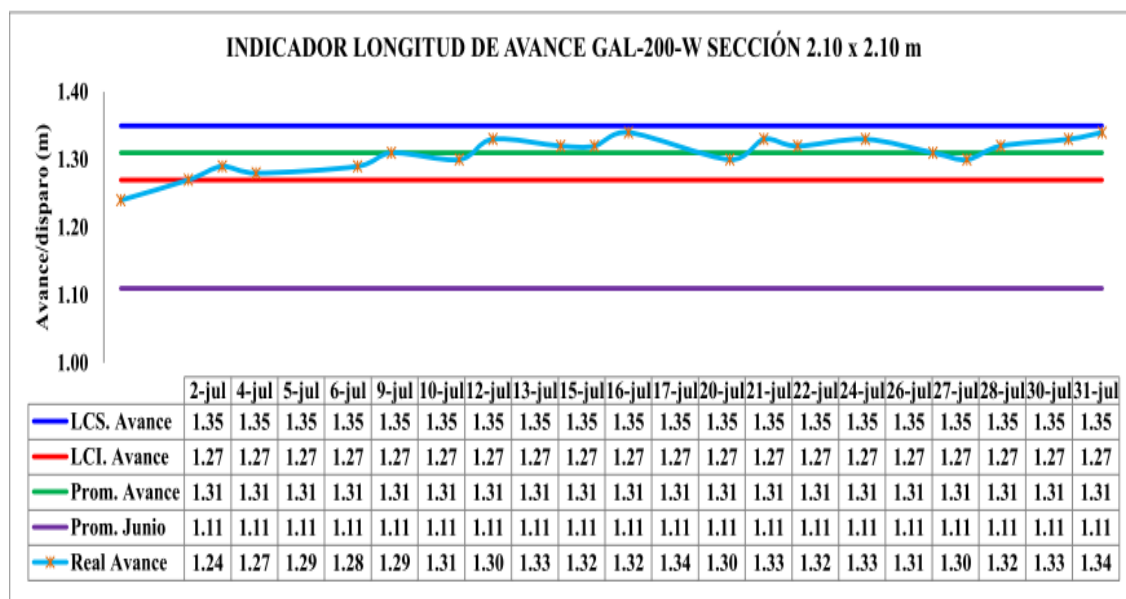


Figura 38: Gráfico del indicador longitud de avance mes julio.
Fuente: Autor de tesis.

En el gráfico de la Figura 39, de la carta de control presentada, el indicador consumo de explosivo, se encuentra prácticamente fuera de control estadístico durante los primeros días del mes, luego hay un comportamiento estable de este indicador.

Con respecto al mes de Junio, se ha obtenido una reducción del 3%, es decir el consumo promedio del mes de Junio fue de 13.50 kg./disparo y durante el presente mes se obtuvo un promedio de 13.09 kg./disparo.

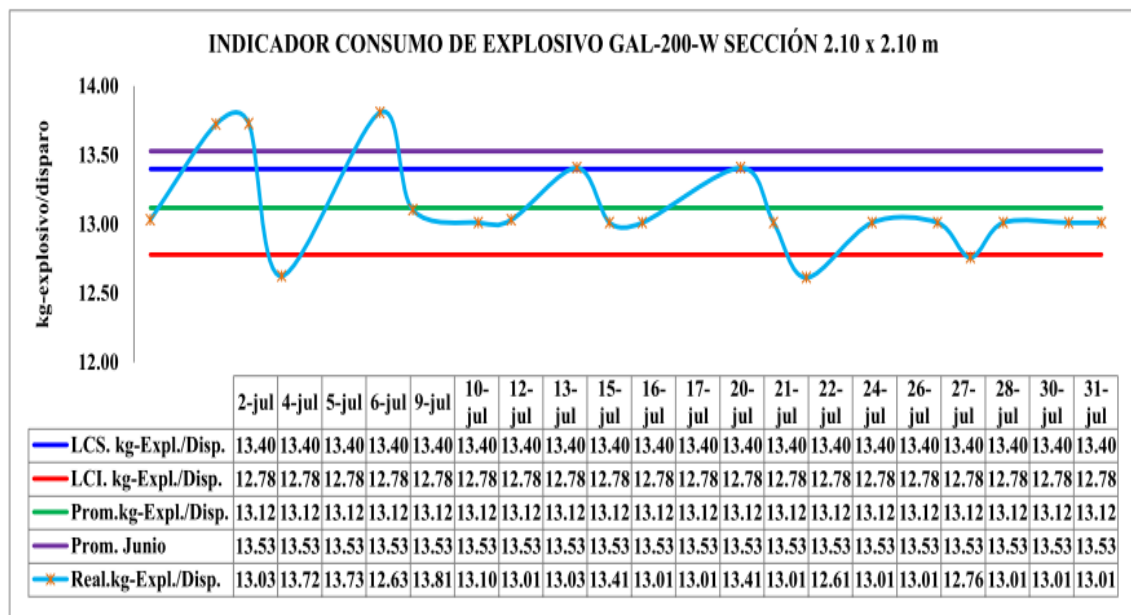


Figura 39: Gráfico del indicador consumo de explosivo mes julio.
Fuente: Autor de tesis.

En el gráfico de la Figura 40, se observa relativamente un comportamiento estable del indicador factor de carga con pequeñas desviaciones. Además cabe mencionar que este indicador es determinante para las evaluaciones de voladuras.

Se ha obtenido una reducción del 17% con respecto al mes de Junio, es decir el factor de carga promedio del mes de Junio fue de 2.75 kg./ m³ y en el presente mes se obtuvo un promedio de 2.27 kg./ m³.

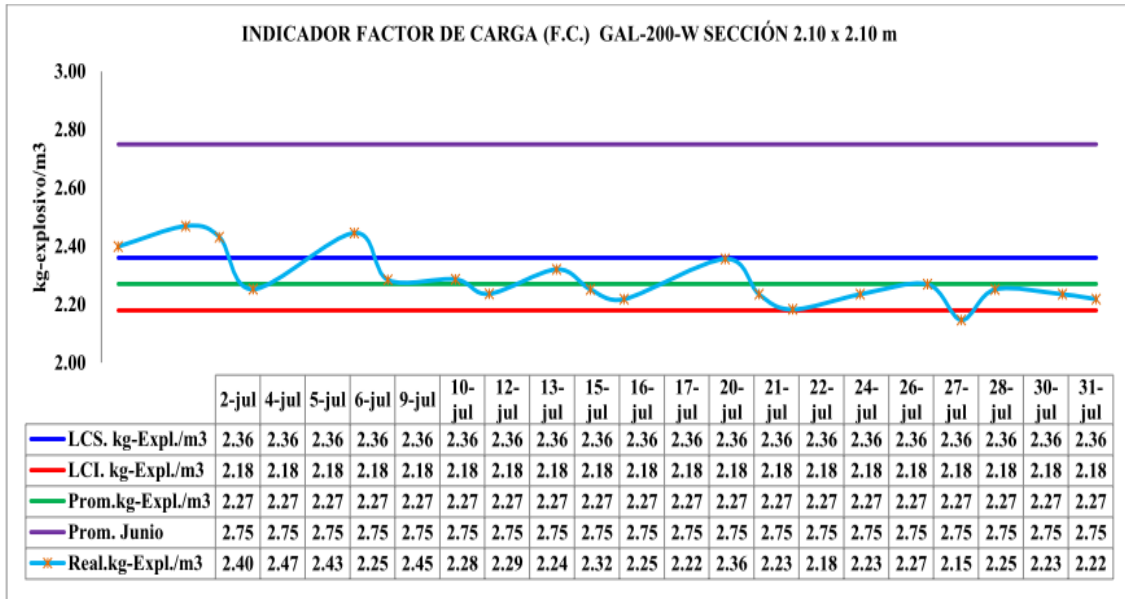


Figura 40: Gráfico indicador factor de carga mes julio.

Fuente: Autor de tesis.

En esta etapa también se ha evaluado las voladuras deficientes.

En el gráfico de la Figura 41, se puede observar, que se ha minimizado los disparos deficientes mediante la capacitación continua al personal en lo referente a perforación y voladura; sumándose a todo ello el seguimiento continuo y control por parte de la supervisión.

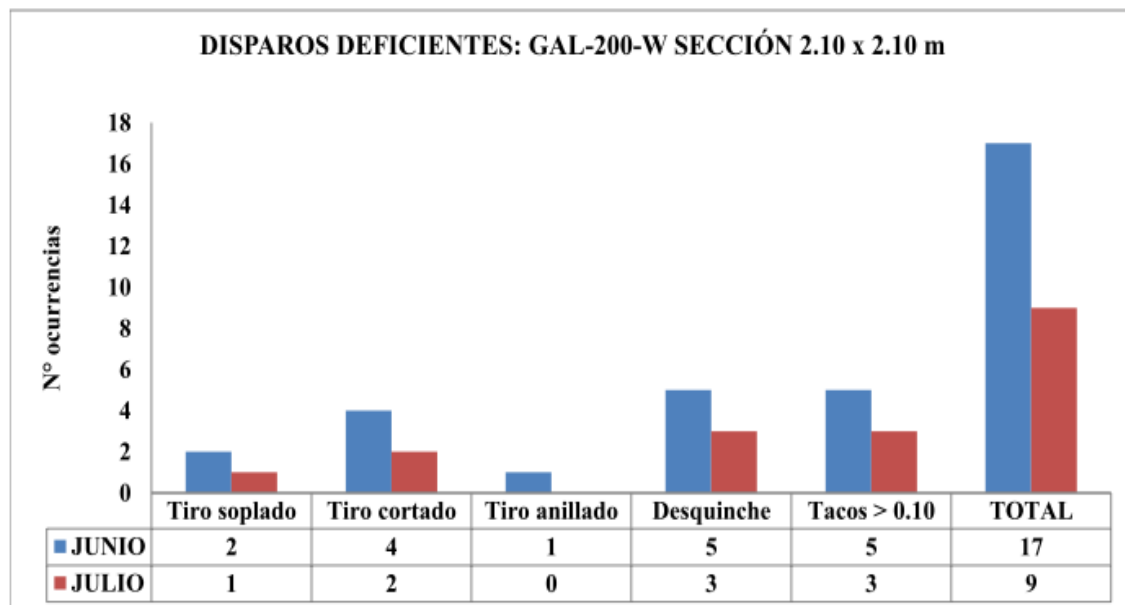


Figura 41: Gráfico de voladuras deficientes.

Fuente: Autor de tesis.

Así mismo, en esta etapa se realiza el análisis de costos operativos para verificar la variación de los costos con respecto a la situación inicial, cuyo detalle se puede apreciar en el Anexo 37.

A continuación se presenta un cuadro de resumen de costos, en donde verificaremos y analizaremos la variación de los costos operativos antes y después del proyecto:

Del Cuadro 12, se deduce claramente que se ha tenido un ahorro de 38.44 US\$/m que equivale al 17.91% con respecto a la situación inicial y también se puede apreciar que en voladura es donde se ha logrado el mayor ahorro con 18.70 US\$/m, esto debido a que el costo de explosivos en que se incurre es alto.

Cuadro 12: Resumen análisis de costos operativos

Ítem	Descripción	Junio US\$/m	Julio US\$/m	Δ	Δ %
1.00	Mano de obra	53.43	45.28	8.16	15.27
2.00	Supervisión	15.39	13.04	2.35	15.27
3.00	Perforación	44.57	36.80	7.77	17.43
4.00	Voladura	88.20	69.50	18.70	21.20
5.00	Implementos de seguridad	5.63	4.77	0.86	15.27
6.00	Herramientas	3.99	3.38	0.61	15.27
7.00	Equipos y ventilación	3.39	3.39	0.00	0.00
Total Costo US\$/m		214.60	176.16	38.44	17.91

Fuente: Autor de tesis.

5.2.7. Paso 7: Estandarización y control

Para garantizar que los procesos de perforación y voladura se lleven bajo condiciones de control, previamente debemos realizar un breve análisis comparativo del grado de variación de los indicadores de perforación y voladura fijados en los estándares provisionales implementados (presupuestado) en el quinto paso del proyecto, con los resultados obtenidos (real) en la prueba piloto Galería 200 W.

La variación debe ser mínima, se dice que un proceso está bajo control cuando la variación, ya sea más o menos (positivo y/o negativo), no supere el límite del 5%, con respecto a los parámetros que se establecen (ver Cuadro 13).

En el Cuadro 13, se puede observar, que los resultados reales de los indicadores obtenidos en la prueba piloto, están bastante cerca de los indicadores planteados en los estándares provisionales. La mayor variación que se puede observar es del indicador factor de avance con -3.83%, con esto podemos predecir que el proceso está bajo control.

Cuadro 13: Indicadores de perforación y voladura presupuestado y real

Indicadores de Perforación y Voladura	Presupuestado	Real	Δ	% Δ
Número de taladros	35	35	0.00	0.00
Longitud de perforación (m)	1.40	1.37	0.03	2.18
Eficiencia de perforación (%)	0.93	0.90	0.03	3.37
Longitud de avance (m)	1.35	1.31	0.04	3.07
Eficiencia de avance (%)	0.96	0.96	0.00	0.47
Volumen roto (m ³)	5.95	5.77	0.18	3.02
Toneladas rotas (TM)	16.07	15.58	0.49	3.05
Explosivo (kg./disparo)	13.01	13.09	0.08	0.62
Factor de carga (kg./m ³)	2.19	2.27	0.08	3.63
Factor de potencia (kg./tn.)	0.81	0.84	0.03	3.78
Factor de avance (kg./m)	9.64	10.01	0.37	3.83
Rendimiento (m/h-gdia.)	0.45	0.44	0.01	3.07
Fulminante (und.)	32	32	0.10	0.31
Guía (m)	68.28	65.78	2.50	3.67
Dinamita 65 % (und.)	115	117	1.50	1.30
Dinamita 45% (und.)	48	47	0.55	1.15

Fuente: Autor de tesis.

Finalmente, para garantizar que los procesos de perforación y voladura en frentes (galerías y cruceros) se lleven a cabo bajo condiciones controladas, se estandarizan los siguientes documentos:

- Estándares de perforación y voladura en galerías y cruceros 7' x 7' (del Anexo 19): Las pautas y los parámetros técnicos establecidos, servirán de modelo dentro de un periodo de plan y el control se realizará comparando los datos obtenidos reales con los estándares planteados.

- Hoja de registro de perforación y voladura (del Anexo 20): Los datos de campo de perforación y voladura se registrarán en este formato y se llevará a cabo el control y seguimiento de los parámetros técnicos establecido en los estándares de perforación y voladura.
- Procedimiento de perforación y voladura en frentes (del Anexo 25 y Anexo 26 respectivamente): La secuencia de la realización de las actividades desde un inicio hasta el final, será en función de los diagramas de flujo elaborado para los procesos de perforación y voladura en frentes.

5.3. Resultados finales

5.3.1. Interpretación de resultados

Durante la estandarización de los procesos de perforación y voladura y aplicado la prueba piloto Galería 200 W, Nivel 4995, mina Ana María, de la empresa Corporación Minera Ananea S.A., en donde sea realizado el seguimiento, control y evaluación de los resultados alcanzados que se reflejan a través de los indicadores de control en perforación y voladura llevado a cabo durante los meses de Junio, Julio y Agosto del año 2014, que se presenta en el Cuadro 14.

Las principales características de la prueba piloto Galería 200-W son:

- Tipo de roca: Semidura a dura (Pizarra).
- Sección: 2.10 x 2.10 m.
- Longitud de barra de perforación: 5 pies.
- Equipos: Máquina *Jack leg*, pala neumática.
- Diámetro de taladro: 38 mm.

A continuación, se presenta el cuadro de resumen final de los datos de indicadores de perforación y voladura y costos de la prueba piloto Galería 200 W, cuyos detalles se pueden apreciar en los Anexos: Anexo 12, Anexo 13, Anexo 36, Anexo 37, Anexo 38 y Anexo 39 respectivamente, durante el tiempo en que se ha realizado la estandarización de los procesos de perforación y voladura:

Cuadro 14: Indicadores de perforación y voladura antes, durante y después de la estandarización

Indicadores de Perforación y Voladura	Antes de la Estandarización Junio 2014	Proceso de Estandarización Julio 2014	En su Aplicación Nuevos Estándares Agosto 2014
Número de taladros	36	35	35
Longitud de perforación (m)	1.22	1.37	1.39
Eficiencia perforación (%)	0.80	0.90	0.91
Longitud de avance (m)	1.11	1.31	1.32
Eficiencia de avance (%)	0.91	0.96	0.95
Volumen roto (m^3)	4.91	5.77	5.82
Toneladas rotas (TM)	13.27	15.58	15.72
Explosivo (kg./disparo)	13.50	13.09	12.95
Factor de carga (kg./ m^3)	2.75	2.27	2.22
Factor de potencia (kg./TM.)	1.02	0.84	0.82
Factor de avance (kg./m)	12.12	10.01	9.81
Rendimiento (m/h-gdia.)	0.37	0.44	0.44
Fulminante (und.)	33	32	32
Guía (m)	70.29	65.77	64.34
Dinamita 65 % (und.)	153	117	115
Dinamita 45% (und.)	15	47	48
Costos (U\$\$/m)	214.60	176.16	174.40

Fuente: Autor de tesis.

5.3.1.1. Análisis de hipótesis general

Hipótesis general.- Mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de la calidad, es posible optimizar la ejecución de galerías y cruceros.

Con el transcurrir del tiempo se han encontrado y puesto en práctica una serie de métodos y técnicas que en la actualidad son de fundamental importancia para una optimización sostenida de los procesos operativos, entre estos métodos y técnicas tenemos la metodología de los 7 pasos del control de la calidad, que es un proceso sistemático y permite obtener logros consistentes en cuanto a productividad, costos y seguridad en las operaciones.

El presente proyecto explica uno de los mejores logros en la optimización de la ejecución de galerías y cruceros de sección 2.10 x 2.10 m. en la mina Ana María, mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de la calidad, que nos ha permitido realizar el análisis, control, evaluación hasta lograr la estandarización en la prueba piloto Galería 200 W.

5.3.1.2. Análisis de hipótesis específicos

Hipótesis específico 1. Estandarizando los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos, es posible mejorar el rendimiento de avance por disparo.

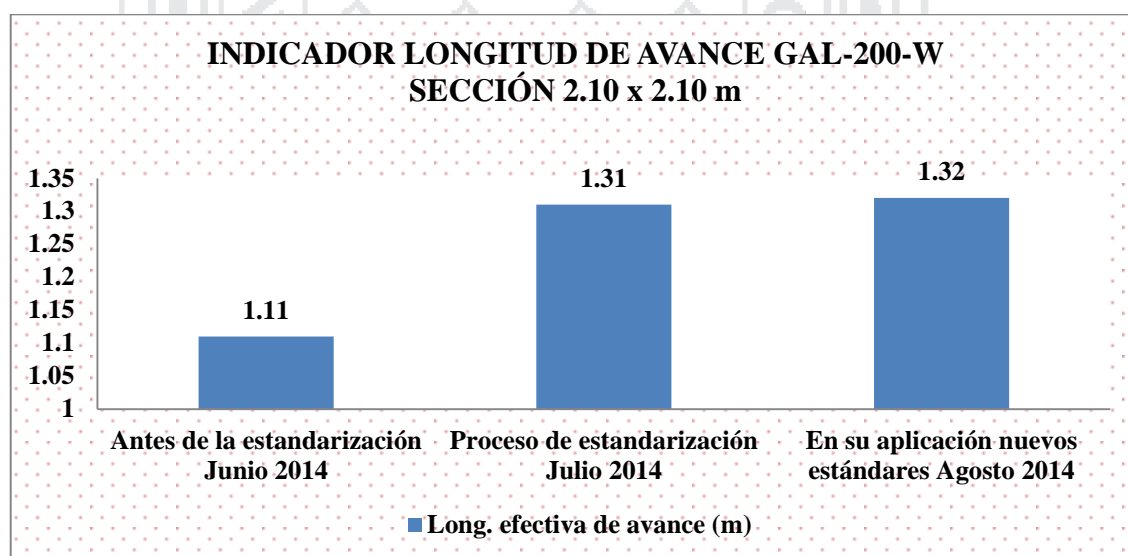


Figura 42: Gráfico de comparación del indicador longitud de avance.

Fuente: Autor de tesis.

Interpretación:

El gráfico de la Figura 42, indica que, estandarizando los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de la calidad, se ha logrado incrementar 0.21 m, que en porcentaje equivale al 19% con respecto a la situación inicial.

Hipótesis específico 2. Se logra determinar la influencia de la estandarización de los procesos de perforación y voladura en la reducción de costos operativos.

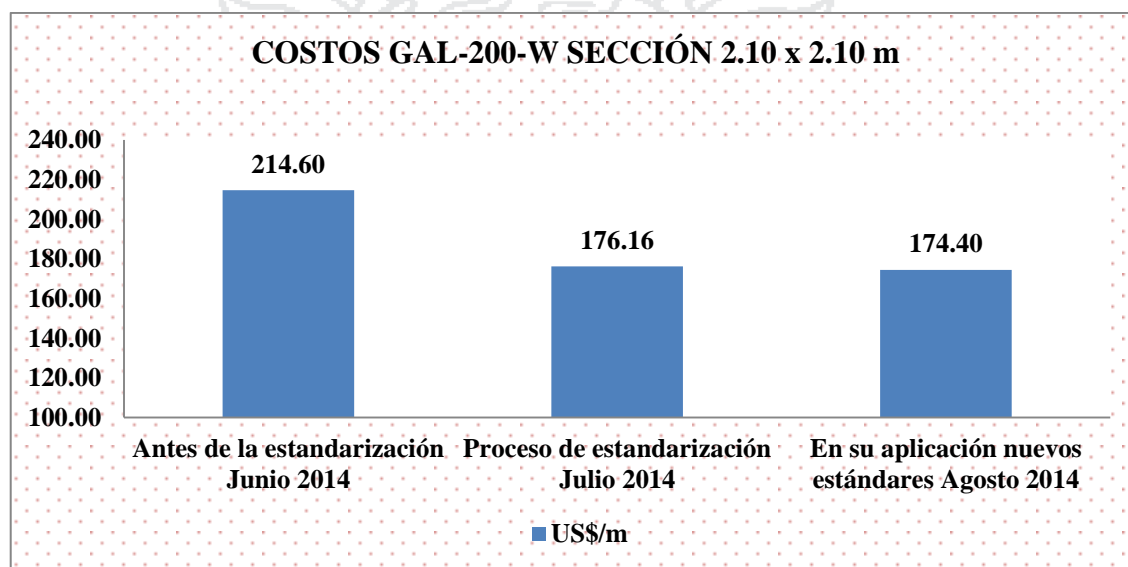


Figura 43: Gráfico de comparación de costos.
Fuente: Autor de tesis.

Interpretación:

El gráfico de la Figura 43, indica que, la estandarización de los procesos de perforación y voladura, ha permitido reducir los costos operativos y lograr una diferencia de 40.20 US\$/m, que en porcentaje equivale al 23% con respecto a la situación inicial y es significativa esta optimización.

Hipótesis específico 3: Con la implementación de nuevos estándares de perforación y voladura, se mejora la ejecución de galerías y cruceros.

Las mejoras se reflejan mediante los indicadores del control llevado durante el tiempo de estudio, que se ha mostrado en el Cuadro 14, de los cuales analizaremos algunos indicadores claves.

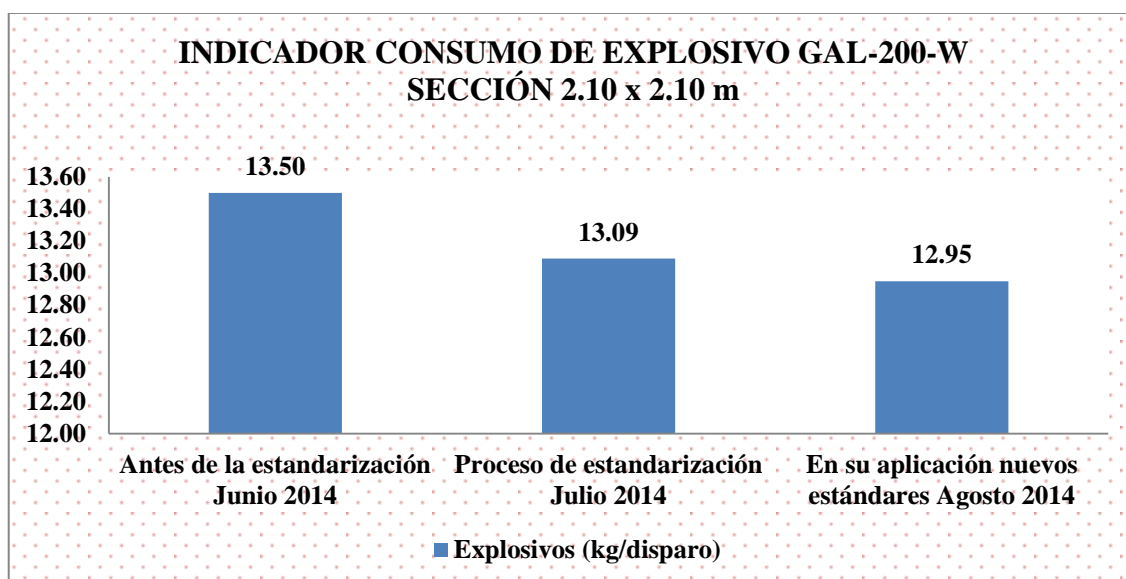


Figura 44: Gráfico de comparación del indicador consumo de explosivo.

Fuente: Autor de tesis.

Interpretación:

El gráfico de la Figura 44, indica que, la implementación de nuevos estándares de perforación y voladura para la ejecución de galerías y cruceros, ha permitido reducir el consumo de explosivos y alcanzar una reducción de 0.55 kg. que representa el 4% con respecto a la situación inicial.

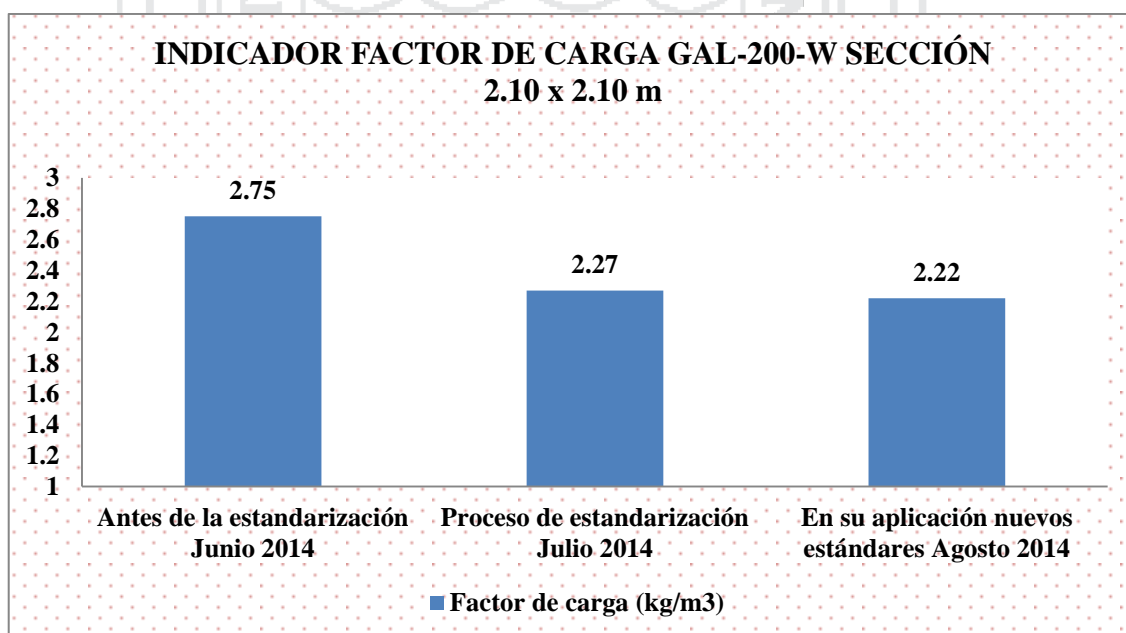


Figura 45: Gráfico de comparación del indicador factor de carga.

Fuente: Autor de tesis.

Interpretación:

El gráfico de la Figura 45, indica que, al implementar los nuevos estándares de perforación y voladura para la ejecución de galerías y cruceros, el factor de carga ha disminuido en 0.53 kg. equivalente al 19% con respecto a la situación inicial.

5.3.2. Discusión del indicador longitud de avance

La longitud de avance es el resultado final de los procesos de perforación y voladura en frentes, el cual debe ser cumplido de acuerdo al presupuestado y planificado y con la calidad que se requiere.

Para el cumplimiento del avance requerido, no basta con realizar un adecuado diseño de la malla de perforación y voladura según cálculos matemáticos que existen hoy; sino que también es necesario realizar una evaluación de los factores como: método de trabajo, mano de obra, materiales, máquinas y medio ambiente, que intervienen directamente en los procesos de perforación y voladura, porque los verdaderos problemas para no cumplir con el avance requerido están ligados a estos factores.

El avance de 1.32 m./disparo logrado en la prueba piloto Galería 200-W, está sustentada desde una base teórica y práctica desarrollada en el proyecto.

Según el modelo matemático de R. Holmberg, el avance del disparo en frentes debe ser al 95% de la profundidad de la excavación determinada. Realizando el cálculo según esta teoría, empleando la ecuación 1, la longitud de los taladros a perforarse, vendría a ser:

$$L = 0.15 + 34.1 x (0.038) - 39.4 x (0.038)^2$$

$$L = 1.39m.$$

Empleando la ecuación 3, la longitud del avance efectivo:

$$H = 0.95 x 1.39$$

$$H = 1.32m.$$

Quiere decir, que se puede obtener un avance efectivo de 1.32 m. en frentes.

En la práctica, lo que se puede lograr depende mucho de la habilidad del perforista y del control del paralelismo y longitud de los taladros. La profundidad de los taladros los cuales romperán hasta el 95% ó más de su profundidad total (ver Figura 46).

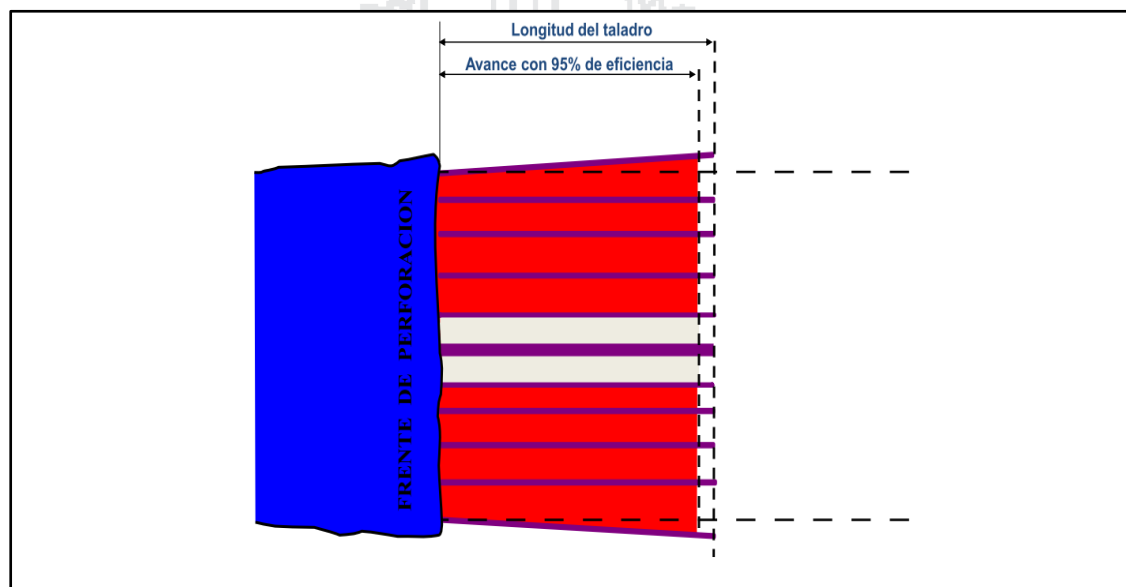


Figura 46: Esquema de la eficiencia de avance del disparo.

Fuente: Manual de voladura Enaex – 2000.

En el informe de visita técnica de la Empresa EXSA a la U.M. El Cofre, donde se diseñó una nueva malla de perforación para labores de desarrollo y exploración de sección 2.10 x 2.10 m, con longitud de perforación de 5 pies, con diámetro del taladro de 38 mm., determinaron que la longitud de los taladros a perforar es de 1.45 m y en las pruebas realizadas en campo mediante capacitación técnica asistida y control, en las pruebas realizadas se logró obtener un avance óptimo de 1.42 m. equivalente al 98%, el cual se puede apreciar el en Anexo 40 del resumen de disparos realizados.

Al realizar la estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos, que permite solucionar los problemas de forma racional, científica y efectiva, haciendo uso de las herramientas de calidad como: gráficas de control, hojas de verificación, diagramas de flujo, diagrama de causa-efecto, diagrama de Pareto. Con el cual ha sido posible determinar, medir y analizar los problemas críticos causantes del problema bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros.

A partir de la identificación de las causas raíz de los problemas que ocasionan el bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros, se propuso implementar medidas de acción de contramedidas a tomar con respecto a cada causa raíz de los problemas y para garantizar el cumplimiento de estas contramedidas se ha especificado los responsables para su ejecución y se ha llevado un estricto control en el campo mediante la implementación de un formato de registro de perforación y voladura, el cual permite evaluar el resultado de la perforación y voladura de cada disparo.

Los principales problemas identificadas y su causa raíz (ver Cuadro 15).

Cuadro 15: Identificación de problemas principales

Factor	Causa Primaria	Causa Raíz
Método de trabajo	Falta de pintado de malla y sección de labor	Falta de estándares de perforación y voladura
	Falta de control de paralelismo	
	Falta de control de longitud	
	Excesivo consumo de explosivos	
	Falta de zonificación de geomecánica	Escasa aplicación de la geomecánica
	Supervisión deficiente	Falta de mayor control en los frentes de perforación
Materiales y herramientas	Barrenos desgastados	Falta de control de aceros de perforación
	Falta de brocas	Falta de control de herramientas
	Falta de guidores/atacadores	
	Falta de cucharillas	
Mano de obra	Incumplimiento de procedimientos	Poca difusión de los procedimientos de trabajo
	Poca experiencia	Falta de capacitación en temas de perforación y voladura
	Rotación	Alta rotación de personal
Máquina y servicios	Presión baja de aire/agua	Falta de capacidad de compresoras y cambio de tuberías
	Máquina o equipo en mal estado	Falta de planificación y mantenimiento preventivo de equipos
	Disponibilidad de máquina/equipo	áquinasobsoletas, falta de repuestos
Medio ambiente y seguridad	Mal desatado de labor	Falta de identificación y evaluación del terreno

Fuente: Autor de tesis.

También se ha realizado el seguimiento, control y análisis de los resultados mediante los gráficos de control de procesos que han permitido determinar las desviaciones en los diferentes indicadores y tomar acciones correctivas inmediatas.

Así mismo se ha elaborado procedimientos de perforación y voladura a implantar para la adecuada realización de las actividades de perforación y voladura en frentes.

Finalmente se ha implementado, mediante diagramas de flujo, los mapas de funciones y responsabilidades, que contribuirán a llevar un adecuado sistema de control de los procesos operativos, no solo de perforación y voladura, sino de todo el ciclo de minado.

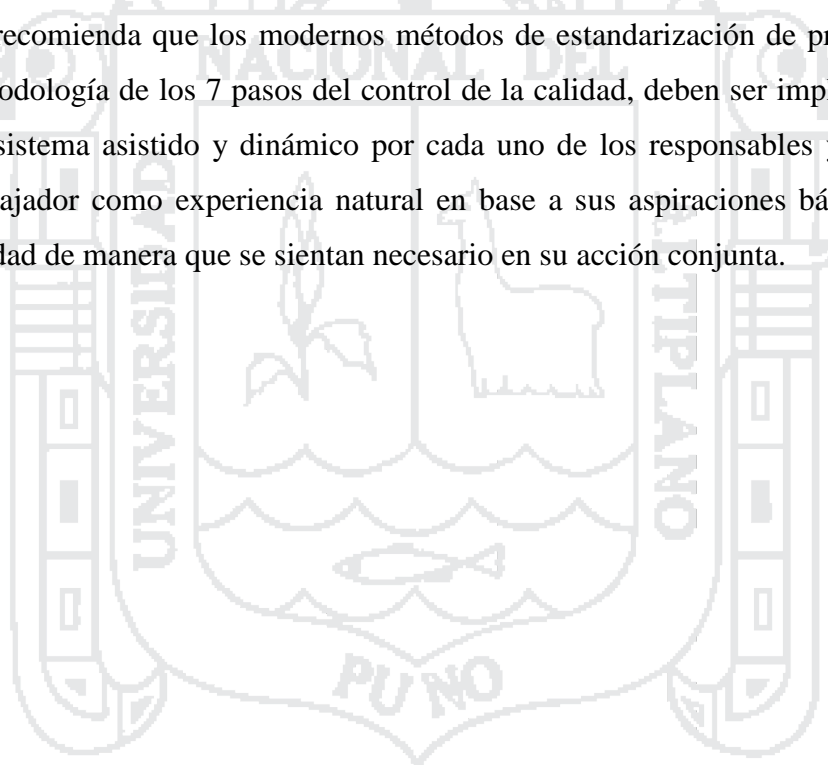


CONCLUSIONES

1. Con la estandarización de los procesos de perforación y voladura mediante el empleo de la metodología de los 7 pasos del control de calidad y aplicado la prueba piloto en la Galería 200-W, se logró superar el problema principal del bajo rendimiento de avance por disparo en la ejecución de galerías y cruceros y se logró optimizar en un 19%, es decir se incrementó de 1.11 m/disparo a 1.32 m/disparo.
2. Al realizar la estandarización de los procesos de perforación y voladura, se logró ahorrar 40.20 US\$/m, antes de este proyecto el costo era de 214.60 US\$/m.
3. Con la implementación de nuevos estándares de perforación y voladura, se logró mejorar la ejecución de galerías y cruceros, que se refleja a través de los indicadores claves de gestión de productividad en perforación y voladura: reducción del número de taladros en un 3%, reducción del consumo de explosivo en un 4% y reducción del factor de carga en un 19%.
4. Del análisis efectuado, se ha determinado que el factor método de trabajo es la principal causa de la ocurrencia de anomalías y/o despilfarros y causante del problema del bajo rendimiento de avance por disparo en galerías y cruceros y se le atribuye un valor del 37%, seguido por máquinas y servicios con un valor de 22% y mano de obra con un 21%.
5. Del análisis efectuado al factor método, se ha determinado que la causa raíz es la falta de estándares de trabajo claramente definidos y establecidos, por el cual el personal no tiene un criterio técnico sobre la realización de las actividades de perforación y voladura y realizan estos trabajos cada uno a su manera.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implantar una política de gestión de calidad mediante la creación de círculos de mejoramiento continuo, que realicen proyectos de eliminación de defectos, reducción de costos y mejora de procesos operativos mina.
2. Se recomienda que para una adecuada estandarización de los procesos de perforación y voladura, se debe realizar un diagnóstico detallado de los procesos y de los factores que intervienen directamente (mano de obra, método de trabajo, materiales y herramientas, máquinas y servicios, medio ambiente y seguridad); solo de este modo se podrá garantizar obtener resultados consistentes una vez implementada los estándares de trabajo.
3. Se recomienda que los modernos métodos de estandarización de procesos como la metodología de los 7 pasos del control de la calidad, deben ser implementadas bajo un sistema asistido y dinámico por cada uno de los responsables y hacer de cada trabajador como experiencia natural en base a sus aspiraciones básicamente en la unidad de manera que se sientan necesario en su acción conjunta.



BIBLIOGRAFÍA

- Apaza Q., Dante (2013). *Mejoramiento del Avance lineal en labores de desarrollo – Contratista IESA S.A. U.M. Arcata*. Tesis. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú.
- Cámac T., Alfredo (2005). *Manual de perforación y voladura de rocas*. FIM-UNA. Puno.
- Cetemin (2009). *Manual de perforación manual*.
- Cetemin (2010). *Manual principios de geomecánica*.
- Cetemin (2011). *Manual de operación de voladura subterránea*.
- Chambí F., Alan (2011). *Optimización de perforación y voladura en la ejecución de la Rampa 740 – Unidad Vinchos – Volcan S.A.A.* Tesis. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú.
- Círculo de Mejora Continua “GEOPERVOL“. (2003). *Incidencia de la geomecánica en los procesos de perforación y voladura en labores mineras subterráneas*. Informe. Compañía Minera Poderosa S.A.
- Círculo de Mejora Continua “PERVOL“. (2000). *Estandarizar el uso de los recursos de perforación y voladura en labores mineras*. Informe. Compañía Minera Poderosa S.A.
- Compañía Minera Poderosa S.A. (2000). *Manual de mejora continua*.
- Compañía Minera Poderosa S.A. (2003). *Incrementar la Recuperación de oro en el proceso de fundición mediante el control de defectos en el manipuleo del precipitado en el cono mezclador*. Informe.
- Compañía Minera Poderosa S.A. (2003). *Manual de perforación y voladura*.
- Convención de ingenieros de minas del Perú. *Trabajos técnicos*. Lima. Perú.
- Decreto Supremo N° 055-2010-EM. *Reglamento de seguridad y salud ocupacional minera*. Perú.
- Enaex S.A. (2000). *Manual de voladura*.
- EXSA (2001). *Manual Práctico de Voladura*. Edición Especial. Perú.
- EXSA (2003). *Explosivos convencionales y accesorios para voladura*. Perú.
- EXSA (2010). *Visita técnica U.M. El Cofre*. Informe.

- Ferrada, C. (2003). *Mejoramiento continuo de calidad*. Editorial Universidad de Santiago. Santiago. Chile.
- Garrido A., Alejandro (2007). *Diagnóstico y optimización de disparos en desarrollo horizontal mina el Teniente*. Universidad de Chile.
- Jáuregui A., Alberto (2009). *Reducción de costos operativo mina, mediante la optimización de estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura*. Tesis. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- López J., Carlos (1994). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Instituto Geológico y Minero España. Edición 1994.
- López J., Carlos (1997). *Manual de túneles y obras subterráneas*. Madrid: Gráfica Arias Montano.
- Lupaca M., Jony (2009). *Costos en operaciones mineras unitarias subterráneas*.
- Orizano R., Ciro (2010). *Estandarización de mallas de perforación en la mina Animón de la empresa administradora Chungar S.A.C*. Tesis. Facultad de Ingeniería de Minas. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco. Perú.
- Shiba, S., Graham, A. y Walden, D. (1993). *A new american TQM: Four Practical Revolutions in Management*. USA.
- Urzúa, R. (2004). *Gestión de calidad: auditoria y otras herramientas de gestión*. Tesis. Ingeniero Constructor. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería.
- Volcan Compañía Minera S.A.A. (2008). *Manual de perforación y voladura*.
- Zapata D., Mónica P. (2002). *Control de costos de una operación minera mediante el método del resultado operativo*. Tesis. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú.

WEB GRAFÍA

- <http://www.iso.org>. Definicion de estandarizacion. (27/03/2015)
- <http://www.calidad.com>. Metodos de control de calidad (18/05/2015)
- <http://www.mejoramiento-continuo.org>. Metodos de mejoramiento continuo. (21/05/2015)
- <http://www.estandarizacion-de-procesos.com>. Estandarizacion de procesos operativos. (01/06/2015)
- <http://www.definicionanb.com/general/estandarizacion.php>. Estandarizacion de procesos. (06/06/2015).
- <http://www.cdiconsultoria.es/proceso-de-mejora-continua-kaizen-valencia>. Metodología de los 7 pasos. (11/06/2015)
- <http://es.slideshare.net/metodos-de-mejora-continua>. Herramientas del control de calidad. (15/08/2015)
- <http://es.slideshare.net/solyrock/estandarizacion-29126539>. Estandarización mediante la metodología de los 7 pasos. (12/09/2015)
- <http://www.definicionabc.com/general/estandarización.php>. Estandarización de operaciones. (20/09/2015)
- <http://www.slideshare.net/guest595683/mejoramiento-continuo-fus>. 7 pasos del control de la calidad. (12/09/2015).



Anexo 1: Plano del Proyecto Galería 200-W



Anexo 2: Plano Geomecánico del Proyecto Galería 200-W

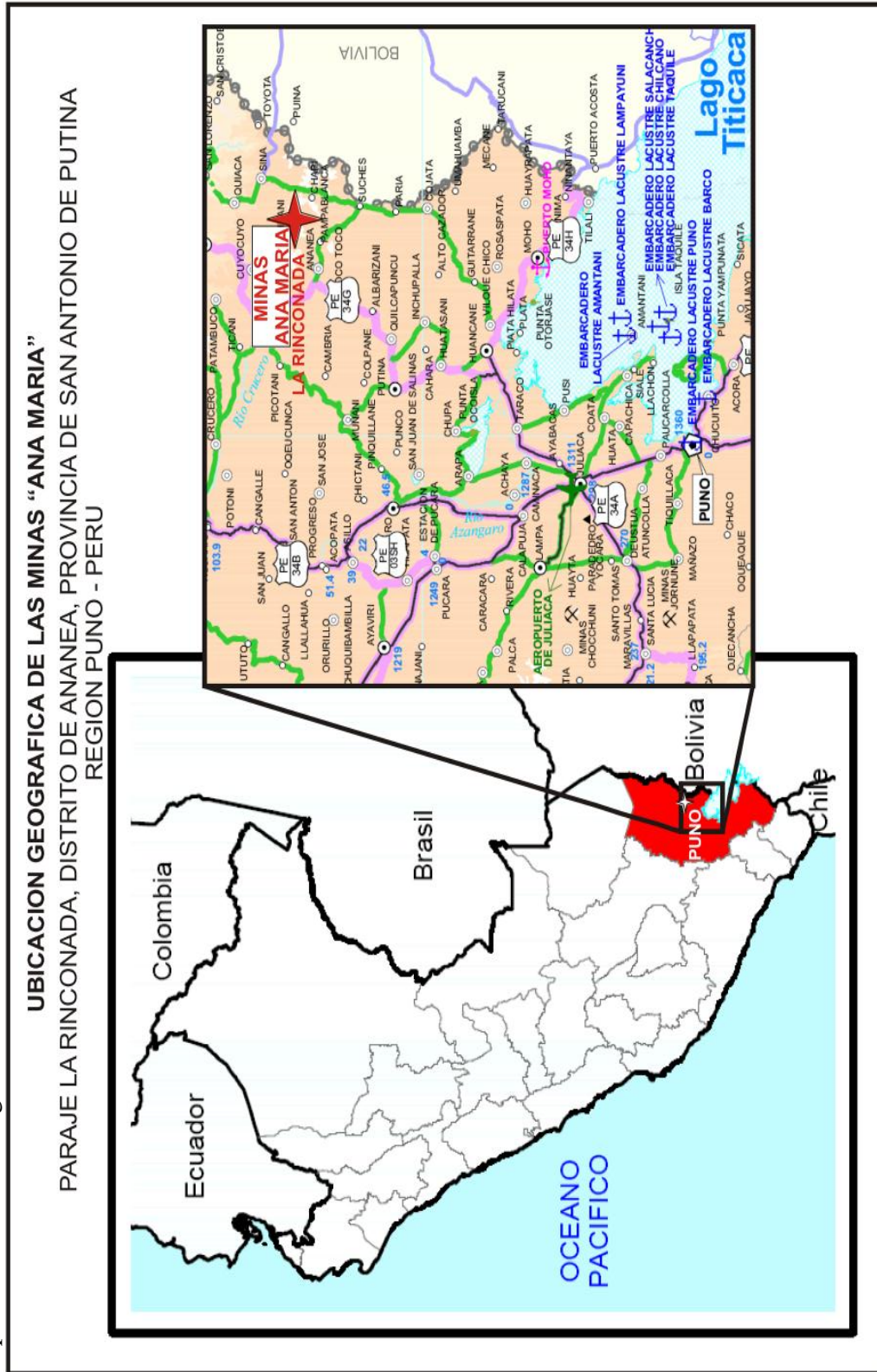


Anexo 3: Matriz de consistencia

TÍTULO: "OPTIMIZACIÓN DE LA EJECUCIÓN DE CRUCEROS Y GALERÍAS EN LA MINA ANA MARÍA MEDIANTE LA ESTANDARIZACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA"					
Problema	Objetivos	Variables	Hipótesis	Metodología	Población y muestra
<p>Pregunta general</p> <p>¿Es posible optimizar la ejecución de labores subterráneas como galerías y cruceros en la mina Ana María, realizando la estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de calidad?</p> <p>¿Se podrá mejorar el rendimiento de avance por disparo, mediante la estandarización de los proceso de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos?</p> <p>¿Cómo influirá la estandarización de los procesos de perforación y voladura en la reducción de costos operativos</p> <p>¿Cuál es el estándar de perforación y voladura para mejorar la ejecución de galerías y cruceros?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Optimizar la ejecución de labores subterráneas como galerías y cruceros en la mina Ana María, mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de calidad</p> <p>Mejorar el rendimiento del avance por disparo, mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos</p> <p>Determinar la influencia de la estandarización de los procesos de perforación y voladura en la reducción de costos operativos</p> <p>Implementar nuevos estándares de perforación y voladura para mejorar la ejecución de galerías y cruceros</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de calidad</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>La optimización de la ejecución de labores subterráneas como galerías y cruceros en la Ana María.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Mediante la estandarización de los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos del control de la calidad, será posible optimizar la ejecución de labores subterráneas como galerías y cruceros en la mina Ana María.</p> <p>Estandarizando los procesos de perforación y voladura empleando la metodología de los 7 pasos, será posible mejorar el rendimiento de avance por disparo.</p> <p>La estandarización de los procesos de perforación y voladura, influirá significativamente en la reducción de costos operativos</p> <p>Con la implementación nuevos estándares de perforación y voladura se mejorará la ejecución de galerías y cruceros</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Descriptiva y Aplicada.</p> <p>Método de investigación:</p> <p>Científico-Analítico.</p> <p>Técnicas:</p> <p>-Observación directa. -Diagrama de causa-efecto. -Análisis de los indicadores de perforación y voladura. -Análisis documental, capacitaciones, evaluaciones, encuestas.</p> <p>Instrumentos:</p> <p>-Datos de campo (in situ). -Diagramas de flujo. -Hoja de verificación de perforación y voladura. -Hoja de registro de registro de perforación y voladura. -Control de costos. -Fotografías</p>	<p>Población:</p> <p>Labores de la zona Santa Ana que realiza la Empresa Corporación Minera Ananea S. A.</p> <p>Muestra:</p> <p>Labor piloto Galería 200-W del Nivel 4995 zona Santa Ana de la mina Ana María.</p>

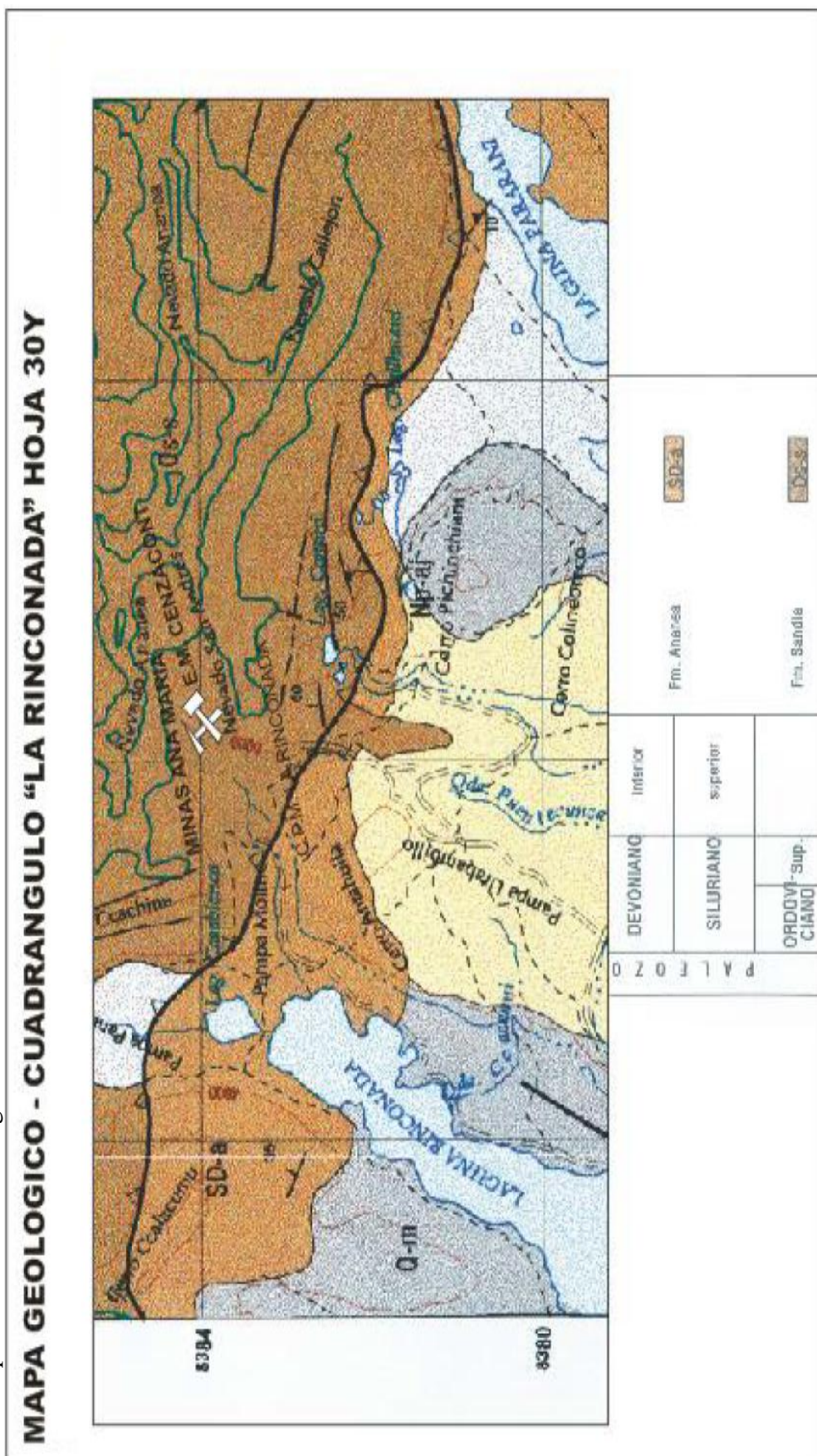
Fuentea: Autor de tesis.

Anexo 4: Mapa de Ubicación Geográfica de la U.E.A. Ana María



Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Geología 2014.

Anexo 5: Mapa de Ubicación Geológica de la U.E.A. Ana María



Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Geología 2014.

Anexo 6: Columna estratigráfica del Área Ana María

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA						
YACIMIENTO AURIFERO "ANA MARIA" - MINAS LA RINCONADA						
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	GROSOR (MTS.)	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS GLACIO FLUVIALES	60		conglomerados sub-redondeados
			DEPOSITOS MORRENICOS			Morrenas y gravas subangulosas litológicamente heterogeneas
	NEOGENO	PLIOCENO	DEPÓSITOS GLACIO - FLUVIALES	30		gravas subredondeadas y subangulosas, lutitas y siltitas conglomeradas
			FORMACIÓN ARCO AJA	50		conglomerados poco consolidados intercalados con lodolitas
PALEOZOICO	DEVONIANO	SILURIANO	FORMACIÓN ANANEA	800		pizarras gris oscuras con características laminares, niveles pelíticos micaceos y delgados, abundantes juntas desordenadas. Capas de areniscas cuarzosas
						FORMACIÓN SANDIA
	ORDOVICICO	SUPERIOR CARADOCIANO	INFERIOR LLANVIRNIANO			

Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Geología 2014.

Anexo 7: Sistema de valoración RMR (según Bieniawsky, 1989)

A. PARAMETROS DE CLASIFICACION Y SUS VALORACIONES							
Parámetro		Rango de valores					
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de carga puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Para este rango bajo, es preferible el ensayo de compresión uniaxial
		Resistencia compresiva uniaxial	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa 1 - 5 MPa < 1 MPa
	Valoración	15	12	7	4	2 1 0	
2	Calidad de testigo de perforación RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%
		Valoración	20	17	13	8	3
3	Espaciamiento de discontinuidades		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	60 - 200 mm	< 60 mm
		Valoración	20	15	10	8	5
4	Condición de las discontinuidades	Superficies muy rugosas no continuas	Superficies ligeram. rugosas	Superficies ligeram. rugosas	Espejo de falla o panizo < 5 mm de espesor	Panizo suave > 5 mm de espesor o apertura > 5 mm	
		Cerradas, sin apertura	Apertura < 1 mm	Apertura < 1 mm	Apertura de 1 - 5 mm	Juntas continuas	
		Paredes rocosas sanas	Paredes ligeramente intemperizadas	Paredes altamente intemperizadas	Juntas continuas		
Valoración	30	25	20	10	0		
5	Agua subterránea	Flujo por 10 m de longitud de túnel (lit)	Ninguno	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
		Presión de agua / principal máximo	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
		Condición general	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo
		Valoración	15	10	7	4	0

B. AJUSTE DE LA VALORACION POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES (Ver F)					
Parámetro	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valoraciones Túneles y minas	0	-2	-5	-10	-12
Valoraciones Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
Valoraciones Taludes	0	-2	-25	-50	

C. CLASE DE MASA ROCOSA DETERMINADAS POR LAS VALORACIONES TOTALES					
Valoración	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
Número de clase	I	II	III	IV	V
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala

D. SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE ROCAS					
Número de clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de auto sostenimiento	20 años span 15 m	1 año span 10 m	1 semana span 5 m	10 hrs span 2.5 m	30 minutos span 1 m
Cohesión de la masa rocosa KPa	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Ángulo de fricción de masa rocosa	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

E. PAUTAS PARA LA CLASIFICACION DE LAS CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES					
Longitud de discontinuidades (persistencia)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Valoración	6	4	2	1	0
Separación (apertura)	Cerrada	< 0.1 mm	0.1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Valoración	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeram. rugosa	Lisa	Espejo de falla
Valoración	6	5	3	1	0
Relleno (panizo)	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno suave < 5 mm	Relleno suave > 5 mm
Valoración	6	4	2	1	0
Intemperización	Sana	Ligera	Moderada	Muy intemperiz.	Descompuesta
Valoración	6	5	3	1	0

F. EFECTO DE LA ORIENTACION Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TUNELERIA			
Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
Avance con el buzam. Buzam. 45 - 90°	Avance con el buzam. Buzam. 20 - 45°	Buzamiento 45 - 90°	Buzamiento 20 - 45°
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Moderado
Avance contra el buzam. Buzam. 45 - 90°	Avance contra el buzam. Buzam. 20 - 45°	Buzamiento 0 - 20°, independiente del rumbo	
Moderado	Desfavorable	Moderado	

Fuente: Manual principios de geomecánica - Cetemin 2010.

Anexo 8: Cartilla geomecánica mina Ana María

ROCA		RMR	CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA	TIPO DE SOSTENIMIENTO		ANCHO	AUTOSOPORTE		OBSERVACIONES	ÁREA GEOLOGÍA U.E.A. ANA MARÍA
TIPO	COLOR			GL, CX, BP,VENT, ETC.	TAJOS, SIN, ETC.		GL, CX, BP,VENT, ETC.	TAJOS, SIN, ETC.		
I	MUY BUENA	81-100	Roca muy dura con muy pocas fracturas, terreno seco (espaciamiento de fracturas de 1 a 3 metros. Se astilla con varios golpes de picota).	No requiere sostenimiento.	No requiere sostenimiento.	1.3-2.5 m	> 1 año	25 días	Voladura normal o controlada.	
II	BUENA	61-80	Roca muy dura con pocas fracturas, ligera alteración, húmeda en algunos casos (espaciamiento entre fracturas de 0.5 a 1 metro. Se astilla con mas de 5 golpes de picota).	Puntales de seguridad en forma esporádica, donde presenta riesgo de caída de rocas.	Puntales de seguridad en forma esporádica, donde presenta riesgo de caída de rocas.	1.3-2.5 m	6 meses a 1 año	4 días	Voladura normal o controlada.	
III-A	REGULAR A	51-60	Roca moderadamente dura, con regular cantidad de fracturas, ligeramente alterada, húmeda a mojada (2 a 6 fracturas por metro. Se rompe con mas de 3 golpes de picota).	Split set espaciados sistemáticamente a 1,20 metros.	Split set espaciados sistemáticamente a 1,20 metros.	1.3-2.5 m	> 1 - 3 meses	2 días	Voladura normal o controlada. Taladro perforado - split set colocado hacia el tope.	
III-B	REGULAR B	41-50	Roca suave muy fracturada, con algunas fallas con panizo, moderada a fuerte alteración, goteo constante en fracturas y fallas (6 a 12 fracturas por metro. Se indenta superficialmente la punta de la picota).	Malla electrosoldada + split set, cuadros de madera espaciados a 1,20 metros.	Malla electrosoldada + split set, cuadros de madera espaciados a 1,20 metros.	1.3-2.5 m	> 3 - 7 días	4 horas	Voladura controlada. Ultima malla a 1 metro del tope, hacia el tope colocar split set, puntales.	
IV	MALA	21-40	Roca muy suave fracturada, con muchas fallas panizadas, moderada a fuerte alteración, goteo constante en fracturas y fallas (12 a 20 fracturas por metro. Se indenta superficialmente la punta de la picota).	Cuadros de madera espaciados a 1 metro.	Cuadros de madera espaciados a 1,30 metros, ultimo cuadro a 1 metro del tope, avanzar con guardacabeza.	1.3-2.5 m	1 a 12 horas	1 hora	Voladura controlada. Ultima malla a 1 metro del tope. Uso de guardacabeza, uso de marchavantes laterales.	
V	MUY MALA	0-20	Roca muy suave completamente triturada, con muchas fallas panizadas, fuertemente alterada con filtracion de agua (> 20 fracturas por metro, muy triturada. Se indenta profundamente la punta de la picota).	Cuadros de madera espaciados a 0.80-1.00 metro, cuadros al tope y con guardacabeza.	Cuadros de madera espaciados a 0.80-1.00 metro, cuadros al tope y con guardacabeza.	1.3-2.5 m	0.5 horas (colapso inmediato)	0 (Colapso inmediato)	Cuadro al tope. Uso de guardacabeza, uso de marchavantes. El explosivo a usar debe ser de baja potencia.	

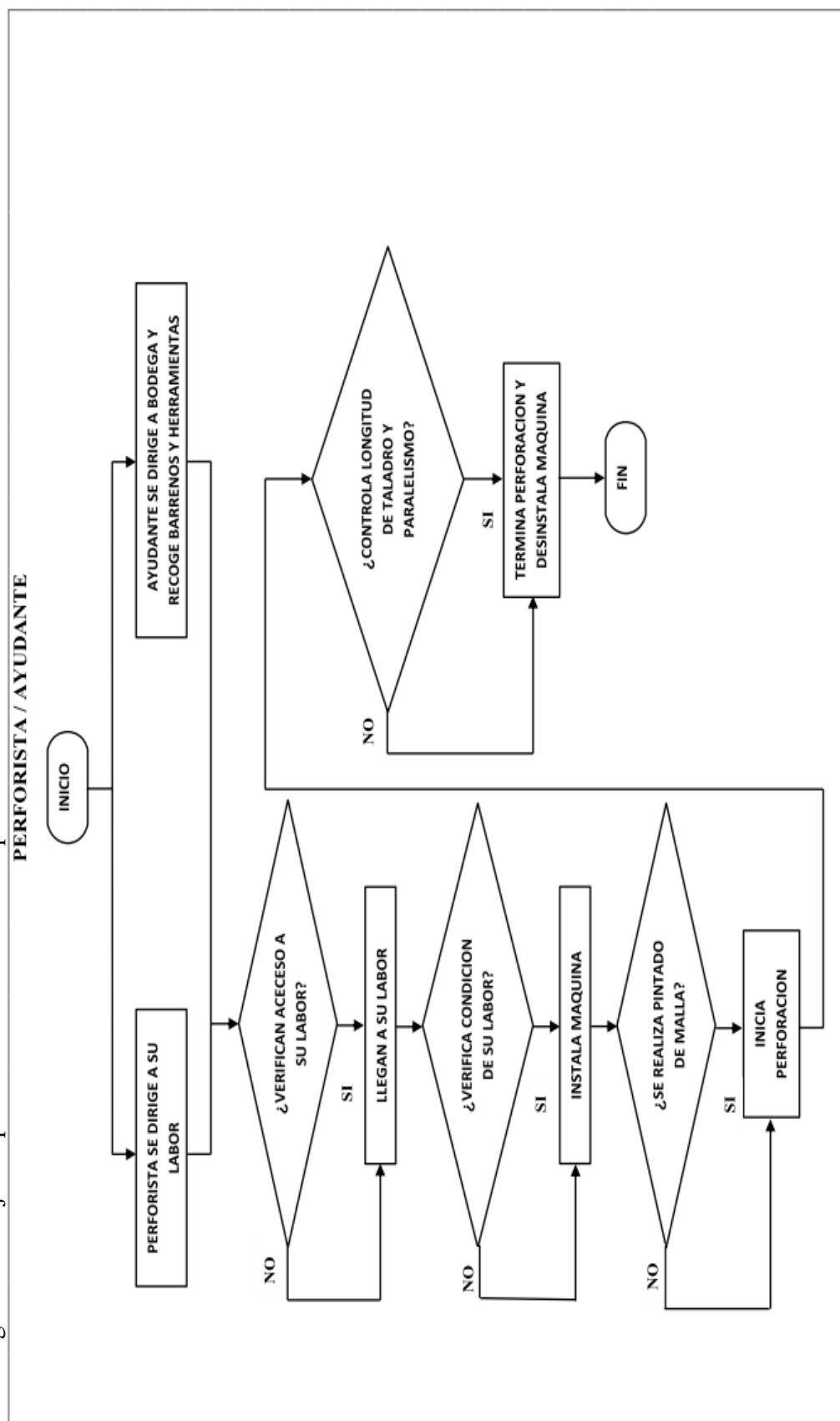
Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Geología 2014.

Anexo 9: Análisis de FODA mina Ana María

<p>MATRIZ FODA</p>	<p>FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Actitud positiva de trabajadores y plana de profesionales del área mina. • Se trabaja en equipo. • Uso inicial de herramientas de seguridad: reporte de incidentes, IPERC, Check list de equipos y de labor, PETAR, OPT, investigación de incidentes y/o accidentes, capacitación programada, PETS, inspecciones. • Inicio del proceso de gestión de procesos mina. 	<p>DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Falta de Política con visión y misión empresarial actualizada. • Restricción operacional por aspecto de poca capacidad de la planta de tratamiento (25 TMD). • Falta de estándares generales y operativos para las actividades críticas y labores de alto riesgo. • Falta de indicadores de gestión de procesos internos. • Falta de mapa de responsabilidades actualizado. • Falta de planeamiento a mediano y largo plazo.
<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adoptar sistemas de gestión de cada vez más ventajosas. • Desarrollo de métodos de explotación más rentables y minado masivo (long Wall). • Mejora continua en aspectos de uso racional de recursos. • Adquisición de tecnología a la par de minas que explotan masivamente. 	<p>ESTRATEGIAS (F-O)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enfocar los proyectos de gestión y mejoramiento continuo de procesos, en compromiso con la alta gerencia y la organización. • Implementar el método de explotación long Wall que permita una mayor productividad y menor costo de minado. • Mantener y mejorar el clima laboral existente. 	<p>ESTRATEGIAS (D-O)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar política con visión y misión empresarial a fin de contribuir con el desarrollo sostenible de la mina Ana María. • Ejecutar el proyecto de ampliación de la planta de tratamiento para incrementar la producción y disminuir la ley mínima operacional. • Implementar estándares para una eficaz ejecución de tareas y mejorar las condiciones de trabajo. • Implementar mapa de responsabilidades a fin de mejorar las funciones y responsabilidades de los colaboradores de la empresa.
<p>AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento cíclico e imprevisible del precio del oro. • Vigencia de leyes protectoras del medio ambiente, la normatividad nacional existente tiende a ser más restrictiva en el aspecto ambiental. • Inestabilidad política y administrativa que se traduce por los conflictos sociales. 	<p>ESTRATEGIAS (F-A)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar plan de minado integral (corto, mediano y largo plazo, secuencia de explotación y recuperaciones). • Implementar estrategias de comunicación efectiva entre el personal supervisor del área mina. 	<p>ESTRATEGIAS (D-A)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar programas de capacitación y entrenamiento al personal que interviene en los procesos de producción mina para mejorar los rendimientos de trabajo y productividad. • Programar evaluaciones de desempeño, que permitan detectar las necesidades del personal y tomar acciones acordes a las mismas.

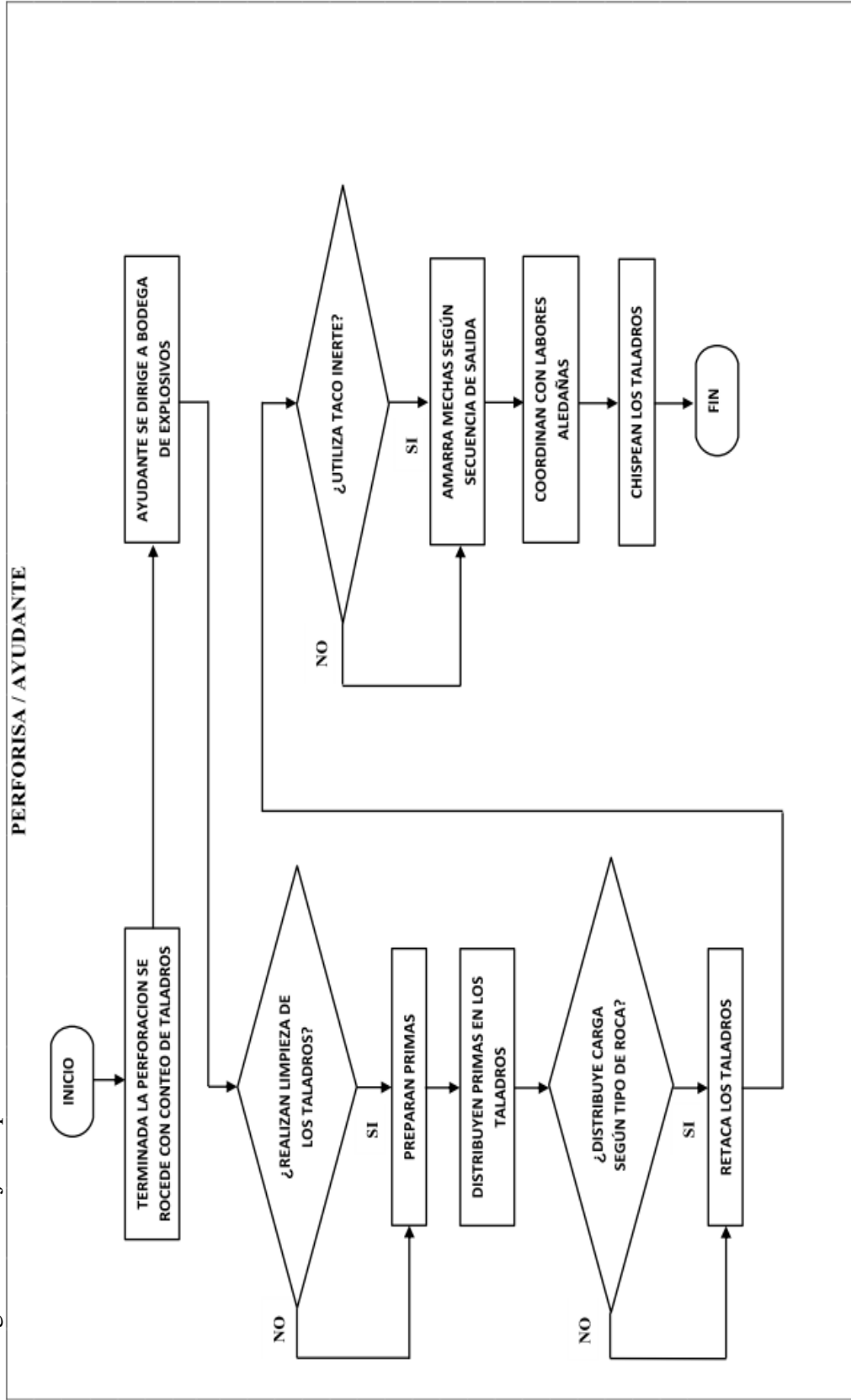
Fuente: Autor de tesis.

Anexo 10: Diagrama de flujo del proceso: Procedimiento de perforación de frentes en la situación inicial PERFORISTA / AYUDANTE



Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL"-Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 11: Diagrama de flujo del proceso: Procedimiento de voladura de frentes en la situación inicial



Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL" -Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 12: Control de los indicadores de perforación y voladura en la situación inicial

MES	jun-14														PROMEDIO							
LABOR	GAL-200-W																					
INDICADORES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA	2-jun	3-jun	7-jun	8-jun	10-jun	11-jun	13-jun	14-jun	15-jun	16-jun	19-jun	20-jun	21-jun	22-jun	24-jun	25-jun	26-jun	27-jun	29-jun	30-jun		
Número de taladros	37	36	36	39	38	34	38	35	32	34	38	34	34	33	35	40	35	36	34	39	36	36
Longitud de perforación (m)	1.2	1.21	1.19	1.22	1.2	1.21	1.22	1.23	1.21	1.2	1.23	1.25	1.22	1.22	1.2	1.25	1.22	1.24	1.24	1.25	1.27	1.22
Eficiencia de perforación (%)	0.79	0.79	0.78	0.80	0.79	0.79	0.80	0.81	0.79	0.79	0.81	0.82	0.80	0.80	0.79	0.82	0.80	0.81	0.81	0.82	0.83	0.80
Longitud de avance (m)	1.11	1.05	1.09	1.12	1.11	1.14	1.10	1.07	1.10	1.12	1.17	1.08	1.13	1.13	1.11	1.12	1.10	1.18	1.12	1.14	1.13	1.11
Eficiencia de avance (%)	0.93	0.87	0.92	0.92	0.93	0.94	0.90	0.87	0.91	0.93	0.95	0.86	0.93	0.93	0.93	0.90	0.90	0.95	0.90	0.91	0.89	0.91
Volumen roto (m3)	4.90	4.63	4.81	4.94	4.90	5.03	4.85	4.72	4.85	4.94	5.16	4.76	4.98	4.90	4.94	4.85	5.20	4.94	5.03	4.98	4.91	4.91
Toneladas rotas (TM)	13.2	12.5	12.9	13.3	13.2	13.5	13.1	12.7	13.1	13.3	13.9	12.8	13.4	13.2	13.3	13.1	14.0	13.3	13.5	13.4	13.2	13.2
Explosivo (kg./disparo)	14.1	13.7	13.3	14.5	14.1	11.7	14.1	13.4	12.0	12.9	14.5	12.6	12.2	13.3	14.9	13.1	13.3	13.3	14.7	13.8	13.5	13.5
Factor de carga (kg./m3)	2.89	2.97	2.77	2.94	2.89	2.33	2.92	2.86	2.48	2.62	2.82	2.67	2.47	2.72	3.03	2.70	2.56	2.70	2.94	2.79	2.75	2.75
Factor de potencia (kg./ton.)	1.07	1.10	1.03	1.09	1.07	0.86	1.08	1.06	0.92	0.97	1.05	0.99	0.91	1.01	1.12	1.00	0.95	1.00	1.09	1.03	1.02	1.02
Factor de Avance (kg./m)	12.7	13.0	12.2	12.9	12.7	10.2	12.8	12.6	10.9	11.5	12.4	11.7	10.8	12.0	13.3	11.9	11.3	11.9	12.9	12.2	12.1	12.1
Rendimiento (m/h-gdia.)	0.37	0.35	0.36	0.37	0.37	0.38	0.37	0.36	0.37	0.37	0.39	0.36	0.38	0.37	0.37	0.37	0.39	0.37	0.38	0.38	0.37	0.37
Fulminante (und.)	34	33	33	36	35	31	33	32	29	31	35	31	30	32	37	32	33	31	36	33	33	33
Guía (m)	72.5	70.4	70.4	76.8	74.7	66.1	74.7	68.3	61.9	66.1	74.7	66.1	64	68.3	78.9	68.3	70.4	66.1	76.8	70.4	70.3	70.3
Dinamita 65% (und.)	160	150	150	160	160	135	160	150	140	145	170	145	140	150	170	150	155	145	165	150	153	153
Dinamita 45% (und.)	15	20	15	20	15	10	15	17	9	15	10	12	12	15	15	12	10	20	18	22	15	15

Fuente: Autor de tesis.

Anexo 13: Análisis de costos operativos en la situación inicial

PARTIDA:	GAL/CX. 7" x 8"	FECHA DE ELABORACIÓN:	30/06/2014
ELABORADO POR:	LRB	T.C.	2.81
EQUIPO:	Perf. Jack Leg-Pala Neum.	Nº taladros perforados	36 taladros/frente
Tipo de Roca	Dura	Nº taladros cargados	33 taladros/frente
Ancho de Labor	2.10 m	Volumen calculado	6.17 m3/disparo
Altura de Labor	2.10 m	Volumen roto	4.90 m3/disparo
Longitud de barra	5 Pies (1.50 m)	Eff. de voladura	79 %
Long. de perforación	1.40 m	Ton. roto por disparo	13.71 TM
Eff. de perforación	93 %	Cart. dinamita	168 cartuchos/disparo
Avance por disparo	1.11 m	Factor de avance	12.21 kgs./m
Densidad del material	2.8 TM/m3	Factor de carga	2.77 kgs./m3

ITEM	DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad	% Incid.	P.U.(US\$)	Parcial	SubTotal	TOTAL (US\$)
1.00	MANO DE OBRA							
	Maestro Perforista - Palero	10.50	hh	100%	2.03	21.35	19.24	
	Ayudante Perforista	10.50	hh	100%	1.81	18.98	17.10	
	Peon Servicios	10.50	hh	100%	1.81	18.98	17.10	
		31.50				59.31		53.43
2.00	SUPERVISIÓN							
	Ing. de Seguridad	10.50	hh	10%	4.52	4.74	4.27	
	Ing. de Guardia	10.50	hh	10%	3.39	3.56	3.21	
	Insp. de Seguridad	10.50	hh	10%	2.26	2.37	2.14	
	Capataz	10.50	hh	10%	2.26	2.37	2.14	
	Mecanico	10.50	hh	10%	2.03	2.14	1.92	
	Bodeguero	10.50	hh	10%	1.81	1.90	1.71	
		63.00				17.08		15.39
3.00	PERFORACIÓN							
	Perforadora	180	pp	100%	0.10	17.67	15.92	
	Barra de 4'	180	pp	100%	0.09	16.56	14.92	
	Broca cónica 38mm	180	pp	100%	0.06	11.28	10.16	
	Aceite de perforacion	0.25	gln	100%	7.00	1.75	1.58	
	Manguera de 1"	25	m	100%	0.02	0.50	0.45	
	Manguera de 1/2"	25	m	100%	0.01	0.27	0.24	
	Piedra esmeril	1	pza	100%	1.09	1.09	0.98	
	Conex. de aire 1"	1	m	100%	0.05	0.05	0.05	
	Conex. de agua 1/2"	1	m	100%	0.31	0.31	0.28	
						49.47		44.57
4.00	VOLADURA							
	Dinamita Semexa 65%, 7/8"x7"	153	cart	100%	0.46	69.69	62.79	
	Dinamita Semexa 45%, 7/8"x7"	15	cart	100%	0.32	4.80	4.33	
	Fulminante Común N° 8	33	und	100%	0.24	7.99	7.19	
	Mecha lenta	70.41	m	100%	0.22	15.28	13.77	
	Guía de chispeo	0.61	m	100%	0.22	0.13	0.12	
						97.90		88.20
5.00	IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD							
	4	tarea	100%	1.56	6.25	5.63		5.63
6.00	HERRAMIENTAS							
	1	tarea	100%	4.42	4.42	3.99		3.99
7.00	EQUIPOS Y VENTILACIÓN							
	Pala Neumática	1.11	m	100%	3.39	3.76	3.39	
	Ventilador	1	h	100%	0	0.00	0.00	
	Manga de ventilación 15"	1	m	100%	0	0.00	0.00	
					3.76			3.39
COSTO POR METRO LINEAL (US\$/m)								214.60

Fuente: Autor de tesis.

Anexo 14: Hoja de verificación de los procesos de perforación y voladura

HOJA DE VERIFICACIÓN									
FECHA: A.....									
ÍTEM	DEFECTOS P&V	DÍAS							TOTAL
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
1	MÉTODO DE TRABAJO								
	Falta de pintado de mallas/sección de labor								
	Falta de control de paralelismo								
	Falta de control de longitud de taladros								
	Exceso de carga								
	No uso de taco inerte								
	Falta de coordinación/comunicación								
	Supervisión deficiente								
	Falta de zonificación geomecánica de labor								
2	MANO DE OBRA								
	Poca experiencia (personal poco capacitado)								
	Rotación								
	Actitud indebida								
	Atascamiento de barreno								
	malas maniobras								
	Incumplimiento de procedimientos								
3	MATERIALES Y HERRAMIENTAS								
	Barrenos desgastados								
	Juego incompleto de barrenos								
	Falta de brocas								
	Falta de barrenera (saca barrenos)								
	Falta de cucharilla								
	Falta de guidores								
	Falta de alambre								
	Falta de gamarrilla								
	Falta de pintura								
4	MÁQUINA Y SERVICIOS								
	Presión baja de aire/agua								
	Máquina o equipo en mal estado								
	Disponibilidad de máquina/equipo								
	Falta de manguera de aire/agua								
	Fugas de aire/agua								
	Exceso de empates en las instalaciones de aire/agua								
	Deficiencia de ventilación								
	Mantenimiento deficiente de equipo								
5	MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD								
	Terreno fracturado/panizado								
	Mal desatado de labor								
	Presencia de agua								

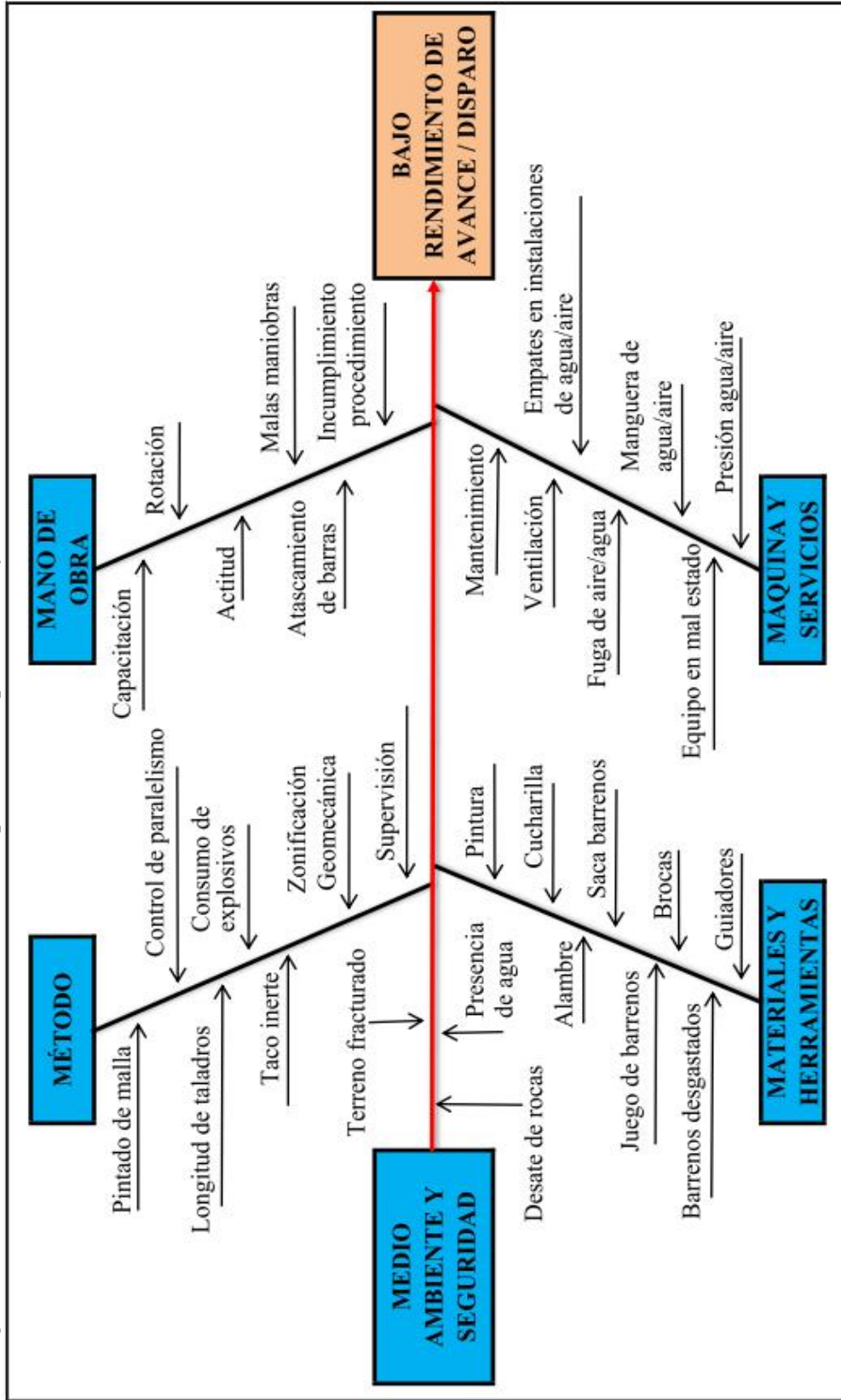
Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua “PERVOL”-Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 15: Control de defectos en los procesos de perforación y voladura

HOJA DE VERIFICACIÓN									
FECHA: 09/06/14 A 15/06/14									
ÍTEM	DEFECTOS P&V	DÍAS							TOTAL
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
1	MÉTODO								
	Falta de pintado de mallas/sección de labor	X		X	X		X		4
	Falta de control de paralelismo		X	X	X	X			4
	Falta de control de longitud de taladros			X			X		2
	Exceso de carga		X			X			2
	No uso de taco inerte	X			X		X	X	4
	Falta de coordinación/comunicación		X						1
	Supervisión deficiente					X			1
	Falta de zonificación geomecánica de labor	X		X				X	3
2	MANO DE OBRA								
	Poca experiencia (personal poco capacitado)		X			X			2
	Rotación	X					X		2
	Actitud indebida				X				1
	Atascamiento de barreno		X				X		2
	malas maniobras		X	X					2
	Incumplimiento de procedimientos	X	X				X	X	4
3	MATERIALES Y HERRAMIENTAS								
	Barrenos desgastados		X				X		2
	Juego incompleto de barrenos			X	X				2
	Falta de brocas						X		1
	Falta de barrenera (saca barrenos)	X							1
	Falta de cucharilla			X					1
	Falta de guidores				X	X		X	3
	Falta de alambre								
	Falta de gamarrilla								
	Falta de pintura			X					1
4	MÁQUINA Y SERVICIOS								
	Presión baja de aire/agua		X		X			X	3
	Máquina o equipo en mal estado		X			X			2
	Disponibilidad de máquina/equipo	X		X				X	3
	Falta de manguera de aire/agua			X		X			2
	Fugas de aire/agua						X		1
	Exceso de empates en las instalaciones de aire/agua	X							1
	Deficiencia de ventilación						X		1
	Mantenimiento deficiente de equipo			X					1
5	MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD								
	Terreno fracturado/panizado	X							1
	Mal desatado de labor				X			X	2
	Presencia de agua								

Fuente: Autor de tesis.

Anexo 17: Diagrama de causa – efecto de los factores en los procesos de perforación y voladura




Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "GEOPERVOL" -Compañía Minera Poderosa S.A. 2003.

Anexo 18: Tabla de propuesta de contramedidas a implementar

ÍTEM	FACTOR	CAUSA PRIMARIA	CAUSA RAÍZ	¿QUÉ?	¿QUIÉN?	PLAZO
1	Método	Falta de pintado de mallas/sección de labor		Implementar estándares de perforación y voladura / Exigir el marcado de malla de perforación de acuerdo al tipo de roca a todos los supervisores y trabajadores	Jefe de Planeamiento / Jefes de Guardia	25/06/2014
2	Método	Falta de control de paralelismo		Implementar estándares de perforación y voladura / Exigir el uso correcto y obligatorio de los guidores y plataforma durante la perforación de taladros a los trabajadores	Jefe de Planeamiento / Supervisores	25/06/2014
3	Método	Falta de control longitud de taladros	Falta de estándares de perforación y voladura	Implementar estándares de perforación y voladura / Hacer seguimiento y controlar la longitud de taladros perforados	Jefe de Planeamiento / Supervisores, Trabajadores	25/06/2014
4	Método	Excesivo consumo de explosivos		Implementar estándares de perforación y voladura / Hacer seguimiento de las mallas de perforación y realizar el carguo de acuerdo a las plantillas pre establecidas según el tipo de roca.	Jefe de Planeamiento / Supervisores, Trabajadores	25/06/2014
5	Método	No uso de taco inerte		Implementar estándares de perforación y voladura / Exigir el uso obligatorio de taco inerte durante el retacado de los taladros	Jefe de Planeamiento / Supervisores	25/06/2014
6	Método	Falta de zonificación geomecánica de labor	Escaza aplicación de Geomecánica	Coordinar con la jefatura de Geología - Geomecánica para dar mayor impulso al mapeo geomecánico e implementar planos geomecánicos en las labores	Jefe de Mina, Jefe de Geología	15/06/2014
7	Método	Supervisión deficiente	Falta de mayor control de la supervisión en los frentes	Mejorar la supervisión y seguimiento constante, los cuales son registrados en los cuadernos de obra en las labores.	Supervisores	25/07/2014
8	Materiales y herramientas	Falta de guidores, atacadores, cucharillas	Falta de control de herramientas	Mejorar el control y distribución de herramientas en las labores y proveer oportunamente si se requiere	Bodegueros	20/06/2014
9	Materiales y herramientas	Barrenos desgastados, Falta de brocas	Falta de control de aceros de perforación	Llevar estricto control de la asignación de aceros de perforación en las labores y así mismo llevar control de vida útil	Bodegueros, Jefe de almacén, Control Mina	20/06/2014
10	Mano de obra	Incumplimiento de procedimientos	Poca difusión de los procedimientos de trabajo	Mayor difusión de los procedimientos de trabajo a los trabajadores de mina y facilitar PETS a todos los trabajadores	Jefe de Seguridad	10/07/2014
11	Mano de obra	Poca experiencia	Falta de capacitación en temas de perforación y voladura	Impulsar la capacitación continua en temas de perforación y voladura a los trabajadores de mina	Jefe de Seguridad, Supervisores	10/06/2014
12	Mano de obra	Rotación de personal	Alta rotación del personal	Seleccionar personal perforista de acuerdo al tipo de labor y evitar rotación	Jefes de Guardia y Capataces	10/06/2014
13	Máquina y servicios	Presión baja de aire/agua	Falta de capacidad de compresoras y mejora del circuito del aire comprimido	Adquisición de compresoras, tuberías de mayor diámetro y pulmones	Logística, Jefe de Mina	15/07/2014
14	Máquina y servicios	Mal estado de máquinas	Falta de planificación y mantenimiento preventivo de	Mejorar el sistema de planificación y mantenimiento preventivo de equipos.	Jefe de Mantenimiento	10/06/2014
15	Ambiente de trabajo y seguridad	Mal desatado de labor	Falta de evaluación del terreno	Mayor capacitación in situ al personal en la evaluación y desate de rocas correctamente	Supervisores	10/06/2014

Fuente: Autor de tesis.

Anexo 19: Estándares de perforación y voladura en galerías y cruceros 7' x 7'

 CMASA	ESTÁNDAR: PERFORACIÓN Y VOLADURA EN GALERÍAS Y CRUCEROS 7' X 7'		U.E.A. ANA MARIA
	Código: E_MIN_012	Versión: 01	
	Fecha de elaboración: 18-06-2014	Página: 1 de 6	

1. OBJETIVO

Estandarizar las actividades de perforación y voladura con máquinas Jack Leg de acuerdo a las características geológicas de la zona de operaciones para los frentes de avance, que son galerías y cruceros, lo cual comprende la distribución espacial optima de los taladros en el frente, longitud de perforación y el carguío de explosivos para obtener mayor eficiencia, calidad, rendimiento, productividad y seguridad en el ambiente de trabajo.

2. ALCANCE

- Al personal de la empresa que trabajan como perforistas y ayudantes.
- En todos los frentes Galerías y Cruceros de sección 2,10 m x 2,10 m en mina Ana María, zona Santa Ana.
- El estándar contempla desde la instalación de la máquina perforadora, perforación de todo el frente y carguío de los taladros.

3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 055-2010-EM

4. RESPONSABLES/RESPONSABILIDADES

Colaborador:

Cumplir el estándar.

Supervisor:

Conocer y hacer cumplir el estándar.
 Retroalimentar cuando sea necesario.

Jefe de Mina:

Verificar que se cumpla el presente estándar.

Superintendente General:

Auditar el cumplimiento del presente estándar.

5. REQUERIMIENTO

<p>CMASA</p>	ESTÁNDAR: PERFORACIÓN Y VOLADURA EN GALERÍAS Y CRUCEROS 7' X 7'		U.E.A. ANA MARIA
	Código: E_MIN_012	Versión: 01	
	Fecha de elaboración: 18-06-2014	Página: 2 de 6	

Aplicar el estándar de evaluación Geomecánica; determinando la calidad de roca y el tipo de sostenimiento (con asesoramiento de los supervisores).

DISEÑO DE INGENIERÍA

- Especificación técnica de las mallas de perforación y voladura según el tipo de roca y sección de la labor.

6. ESPECIFICACIONES

- Máquina perforadora tipo Jack Leg.
- Juego de barrenos hexagonales cónicos de 3 y 5 pies.
- Diámetro de broca de 38mm.
- Presión de aire mínima 65 PSI.
- Plataforma de perforación.
- Guiadores para control de paralelismo entre taladros
- Pintura o Sprite para el pintado de sección y cuadrículado del frente a perforar
- Sacabrocas, cucharillas, flexómetro, fósforos, cordel y punzón de cobre.
- En caso de voladura controlada, en la corona la perforación de taladros tendrá un espaciamiento entre diámetros de 35 cm.
- Numero de taladros por frente serán según el tipo de labor, sección y tipo de roca. En este caso para galerías y cruceros 7' x 7' se han determinado para 3 tipos de roca:

TALADROS	ROCA TIPO I y II	ROCA TIPO III	ROCA TIPO IV
Nº taladros cargados	32	29	25
Nº taladros alivio	3	3	6
Nº total taladros	35	32	31
Long. de perforación (pies)	5	5	5

7. OPERACIÓN

Antes de perforar, sacar los puntos de perforación, siguiendo los siguientes pasos:

- Marcar la gradiente y dirección usando los puntos colocados por topografía, para el cual usaran los respectivos cordeles.
- Cuadricular el frente de acuerdo a la sección, gradiente y dirección de la galería.
- Distribuir los taladros marcándolo a partir del centro del frente, esto de acuerdo a la malla de perforación y número de taladros calculados previamente.

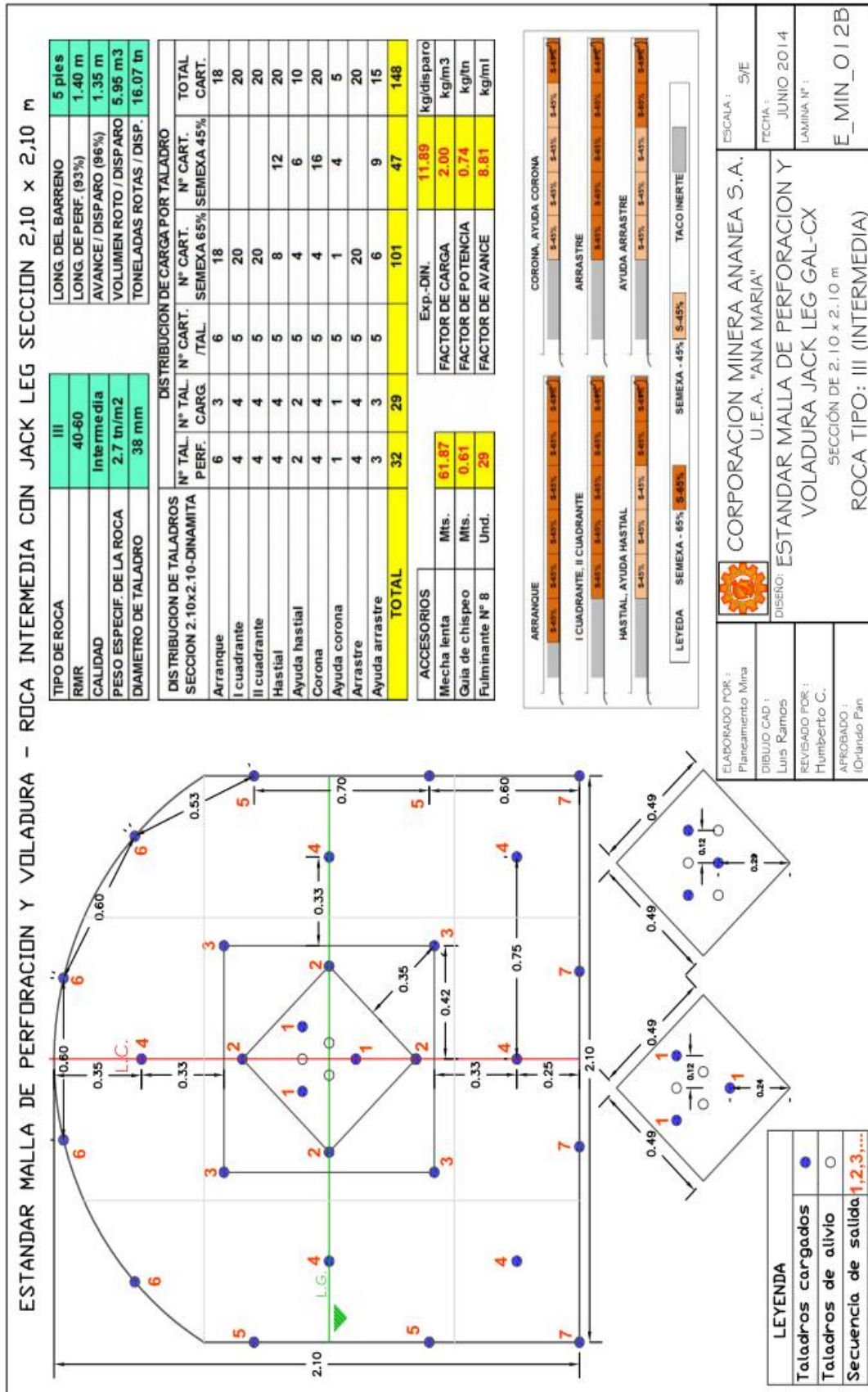
Durante la perforación:

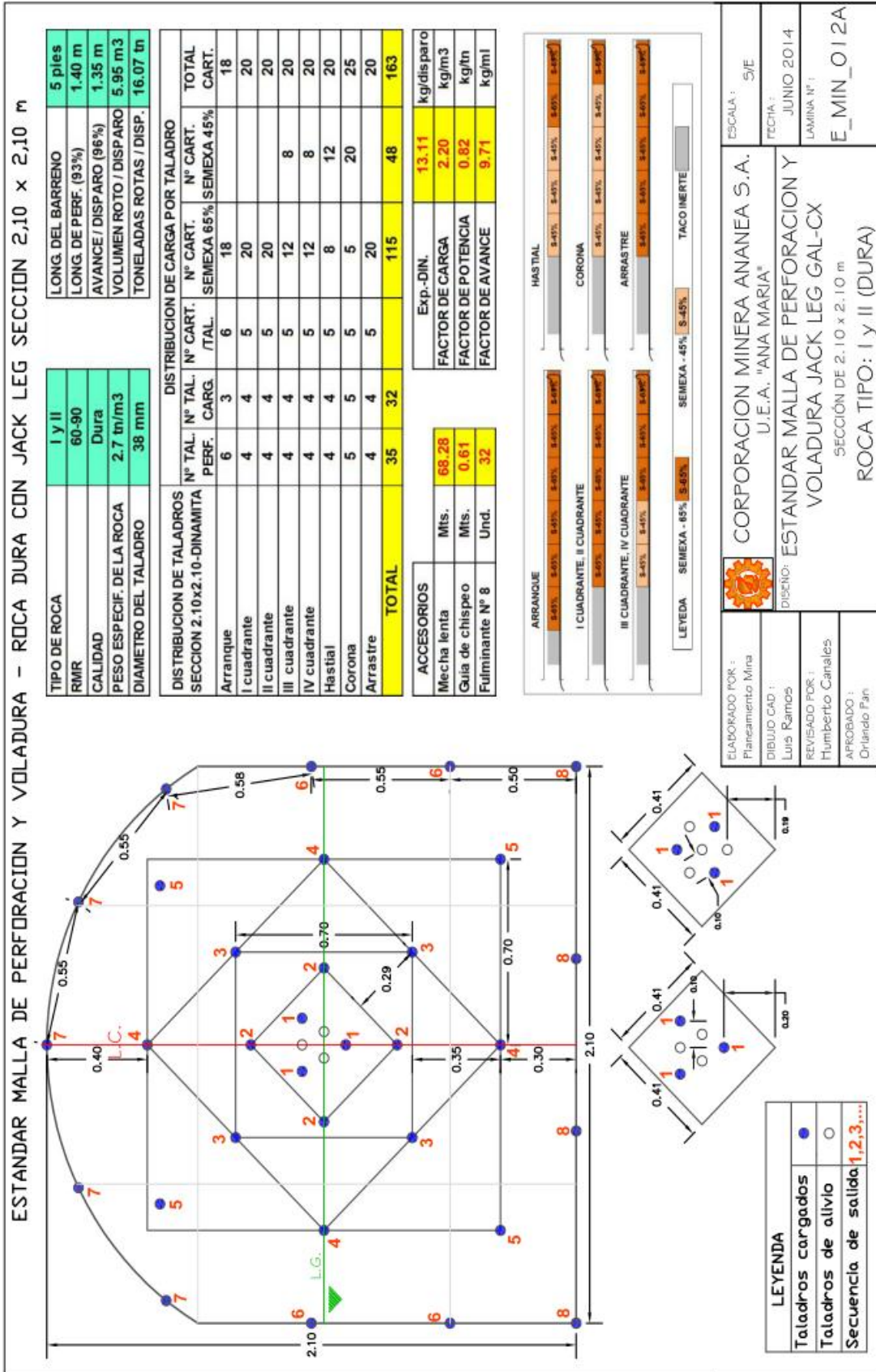
- Señalar con guiadores la dirección de cada uno de los taladros a perforar.

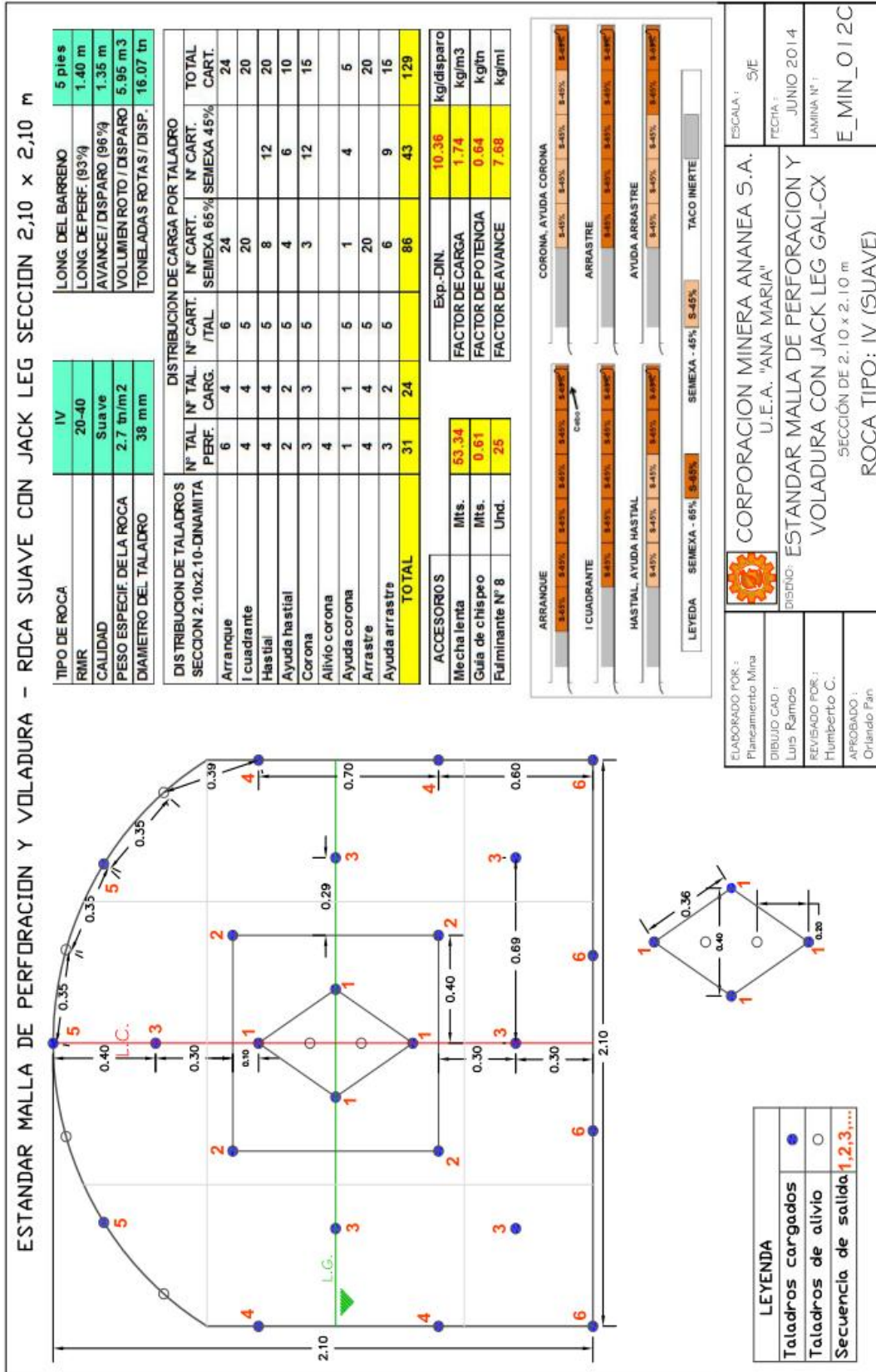
<p>CMASA</p>	ESTÁNDAR: PERFORACIÓN Y VOLADURA EN GALERÍAS Y CRUCEROS 7' X 7'		U.E.A. ANA MARIA
	Código: E_MIN_012	Versión: 01	
	Fecha de elaboración: 18-06-2014	Página: 3 de 6	

<ul style="list-style-type: none"> • Perforar según longitud establecida y mantener uniformidad. • Utilizar plataforma en la perforación de los taladros de corona. <p>Utilizar los trazos adecuados de acuerdo a los diseños pre establecido.</p> <p>Durante el carguío de taladros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antes del carguío revisar los taladros y limpiar los taladros obstruidos por detritus. • Realizar el carguío de los taladros según diseño de malla de acuerdo al tipo de roca y longitud del taladro. • Utilizar taco inerte (detritus y/o arcilla) en retacado de taladros. • Cumplir con los procedimientos de perforación y voladura en frentes. <p>8. REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN</p> <p>Seguimientos de mallas de perforación y carguío para la voladura, Data de Análisis de los índices de P&V, formato de labor, formato de P&V.</p> <p>9. FRECUENCIA DE INSPECCIONES</p> <p>Semanal</p> <p>10. EQUIPO DE TRABAJO</p> <p>Jefe de Mina, Jefe de Planeamiento, Jefe de guardia, Capataz de mina, Perforista y Ayudante perforista.</p> <p>11. REVISION Y MEJORAMIENTO CONTÍNUO</p> <p>Las revisiones se realizarán anualmente y/o cuando se generen cambios en las actividades.</p> <p>ANEXOS: diseños de P&V:</p> <ul style="list-style-type: none"> • E_MIN_012A • E_MIN_012B • E_MIN_012C
--

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
- PLANEAMIENTO MINA - TRABAJADORES	Humberto Canales G. SUPERINTENDENTE MINA	Saturnino Poco Pinto JEFE DE SSOMA	Orlando Pari Ingaluque SUPERINTENDENTE GENERAL







Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Mina 2014.

Anexo 20: Formato de campo registro de perforación y voladura

<p>CORPORACIÓN MINERA ANAEA S.A.</p>		<p>EVALUACION TECNICA DEL FRENTE</p>		<p>EVALUACION IN SITU DEL FRENTE</p>	
<p>DATOS DE CAMPO</p> <p>Fecha</p> <p>Guardia</p> <p>Labor / Nivel</p> <p>Equipo/T. de perf.</p> <p>Líder de labor</p> <p>Ayudante</p>		<p>PARAMETROS DE PERFORACION</p> <p>Ancho m</p> <p>Alto m</p> <p>Longitud de perforación m</p> <p>N° de taladros perforados tal</p> <p>N° de taladros cargados tal</p>		<p>RESULTADO</p>	
<p>EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS</p> <p>Semexa 65% und</p> <p>Semexa 45% und</p> <p>Fulminante Común N° 8 und</p> <p>Mecha lenta m</p> <p>Guía de chispeo m</p>		<p>OBSERVACIONES</p>			
<p>EVALUACION DEL DISPARO</p> <p>Volumen roto m³</p> <p>Avance real m</p> <p>Factor de carga Kg/m³</p> <p>Factor de avance Kg/ml</p>					
<p>SOBREEXCAVACION</p> <p>Alto m</p> <p>Ancho m</p> <p>Volumen roto m³</p> <p>Sobreexcavación m³</p>					

Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Mina 2014.

Anexo 21: Registro de perforación y voladura en campo

CORPORACIÓN MINERA ANANEA S.A.	
DATOS DE CAMPO	
Fecha	16/08/2014
Guardia	"Día"
Labor / Nivel	Gal 200 w 4995
Equipo/T. de perf.	Atq H 14 2.1 hrs.
Líder de labor	Nolberto Calsin P.
Ayudante	Eduar Quise S.
PARAMETROS DE PERFORACION	
Ancho	m 2.10
Alto	m 2.10
Longitud de perforación	m 4.39
N° de taladros perforados	tal 35
N° de taladros cargados	tal 32
EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS	
Senexa 65%	und 445
Senexa 45%	und 48
Fulminante Común N° 8	und 32
Mecha lenta	m 63.61
Guía de chispeo	m 0.61
EVALUACION DEL DISPARO	
Volumen roto	m ³ 5.91
Avance real	m 1.31
Factor de carga	Kg/m ³ 2.22
Factor de avance	Kg/ml 10.00
SOBREEXCAVACION	
Alto	m 2.17
Ancho	m 2.08
Volumen roto	m ³ —
Sobreexcavación	m ³ —

EVALUACION TECNICA DEL FRENTE	EVALUACION IN SITU DEL FRENTE	RESULTADO
<p>OBSERVACIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> * Mantener buen control del paralelismo. * Terreno I/F/B <p><i>[Signature]</i> Ing° David C. I.E.</p>		<p>RESULTADO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Disparo eficiente - Tacos > 5cm. - Corona un poco irregular

Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Mina 2014.

Anexo 23: Control y distribución de personal

CORPORACIÓN MINERA ANANEA S.A.		DISTRIBUCIÓN DE PERSONAL POR GUARDIA ZONA SANTA ANA - 2014											
JEFE DE MINA: Ing. Humberto Camales Gutiérrez		TURNO "A"			TURNO "B"			TURNO "C"			FECHA: 05/05/14 A 11/08/14		
NIVEL	LABOR	CARGO	NOMBRES	CARGO	NOMBRES	CARGO	NOMBRES	CARGO	NOMBRES	CARGO	NOMBRES	CARGO	NOMBRES
PERSONAL SUPERVISION	PERSONAL SUPERVISION	Leñe de Guardia	Ing. Luis Ramona Borda	Leñe de Guardia	Ing. Alfonso Bravo	Leñe de Guardia	Ing. David Colla Belizario	Capataz	Cirilo Larico Mamani	Capataz	Guillermo Chumbi J.	Superv. de Seguridad	Director Quispe P. 3
		Superv. de Seguridad	Anastasio Yana Yana	Superv. de Seguridad	Martin Mamani Meza	Superv. de Seguridad	Martin Mamani Meza	Sub-TOTAL	3	3	3	3	
		Perforista	Santiago Mollochuanca Flores	Perforista	Nicanor Ticoma Ticoma	Perforista	David Mamani Pacompia	Perforista	Samuel Pazo Machaca	Perforista	Walter Pizarro Nuñez	Perforista	Walter Pizarro Nuñez
		As. Perforista	Diana Mamani Mamani	As. Perforista	Raul Canaza Sanchez	As. Perforista	Raul Canaza Sanchez	As. Perforista	Edwin Huacana C.	As. Perforista	Edwin Huacana C.	As. Perforista	Edwin Huacana C.
		Winchero	Nicolas Pillo Zumballan	Winchero	Angel Ticona Ticona	Winchero	Franco Oquise Calaña	Winchero	Edwin Condori Mamani	Winchero	Edwin Condori Mamani	Winchero	Edwin Condori Mamani
		Perforista	Luisa Caba Yana	Perforista	Edwin Condori Mamani	Perforista	Pedro Sausaca Grande	Perforista	Medina Canaza Capacoila	Perforista	Medina Canaza Capacoila	Perforista	Medina Canaza Capacoila
		As. Perforista	Edgar Anzo Araya	As. Perforista	Medina Canaza Capacoila	As. Perforista	Presnal Cuzamani Gomez	As. Perforista	Vidal Mamani Condori	As. Perforista	Vidal Mamani Condori	As. Perforista	Vidal Mamani Condori
		Winchero	León Ylla Pacompia	Winchero	Edgar Pacha Ousisco	Winchero	Edgar Pacha Ousisco	Winchero	Rubén Araya Araya	Winchero	Rubén Araya Araya	Winchero	Rubén Araya Araya
		As. Perforista	Mario Hanco Morocco	As. Perforista	Wilfredo Grande Paucar	As. Perforista	Wilfredo Grande Paucar	As. Perforista	Ramiro Colla Chua	As. Perforista	Ramiro Colla Chua	As. Perforista	Ramiro Colla Chua
		As. Perforista	Edgar Canaza Canaza	As. Perforista	Atanasio Quispe Pari	As. Perforista	Atanasio Quispe Pari	As. Perforista	Ramiro Colla Chua	As. Perforista	Ramiro Colla Chua	As. Perforista	Ramiro Colla Chua
Nv. 4995	CARREROS	Servicio	Edgar Canaza Canaza	Servicio	Ignacio Pazo Quispe	Servicio	Ignacio Pazo Quispe	Servicio	Aurelio Morocón Cana	Servicio	Aurelio Morocón Cana	Servicio	Aurelio Morocón Cana
		Servicio	Felix Fernandez Fabian	Servicio	Adolfo Caluuri Volquez	Servicio	Adolfo Caluuri Volquez	Servicio	Ignacio Araya Inquilin	Servicio	Ignacio Araya Inquilin	Servicio	Ignacio Araya Inquilin
		Servicio	Roman Belizario Pacompia	Servicio	Samuel Flores Mesa	Servicio	Samuel Flores Mesa	Servicio	Ignacio Araya Inquilin	Servicio	Ignacio Araya Inquilin	Servicio	Ignacio Araya Inquilin
		Servicio	Luiser Moya Condori	Servicio	Roberto Pacompia Capacoila	Servicio	Roberto Pacompia Capacoila	Servicio	Roberto Pacompia Capacoila	Servicio	Roberto Pacompia Capacoila	Servicio	Roberto Pacompia Capacoila
		Perforista	Abraham Ito Araya	Perforista	Modesto Hanco Curo	Perforista	Modesto Hanco Curo	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza
		As. Perforista	Edwin Anzuete Pari	As. Perforista	Fidel Mestas Mendoza	As. Perforista	Fidel Mestas Mendoza	As. Perforista	Wilson Cuentas Turpo	As. Perforista	Wilson Cuentas Turpo	As. Perforista	Wilson Cuentas Turpo
		Perforista	Marcelino Belizario Machaca	Perforista	Martin Mamani Cuzipa	Perforista	Martin Mamani Cuzipa	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Wilson Cuentas Turpo
		Perforista	Francisco Ousipe Hanco	Perforista	Modesto Hanco Curo	Perforista	Modesto Hanco Curo	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza
		As. Perforista	Rodolfo Vilca Pacompia	As. Perforista	Fidel Mestas Mendoza	As. Perforista	Fidel Mestas Mendoza	As. Perforista	Wilson Cuentas Turpo	As. Perforista	Wilson Cuentas Turpo	As. Perforista	Wilson Cuentas Turpo
		Winchero	Bruno Mamani Pacompia	Winchero	Fidel Mestas Mendoza	Winchero	Fidel Mestas Mendoza	Winchero	Fidel Mestas Mendoza	Winchero	Fidel Mestas Mendoza	Winchero	Fidel Mestas Mendoza
Nv. 4945	INC 955	Perforista	Celso Pelliso Aruano	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza
		Perforista	Hugo Araya Araya	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza
		Perforista	Roberto Huallpa Tito	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza
		Perforista	Mario Belizario Chaita	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza
		Servicio	Mariano Mamani Diaz	Servicio	Wilson Cuentas Turpo	Servicio	Wilson Cuentas Turpo	Servicio	Fidel Mestas Mendoza	Servicio	Fidel Mestas Mendoza	Servicio	Fidel Mestas Mendoza
		Perforista	Elisaco Coa Araya	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Wilson Cuentas Turpo	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza	Perforista	Fidel Mestas Mendoza
		Servicio	Volcario Quispe Manasco	Servicio	Wilson Cuentas Turpo	Servicio	Wilson Cuentas Turpo	Servicio	Fidel Mestas Mendoza	Servicio	Fidel Mestas Mendoza	Servicio	Fidel Mestas Mendoza
		Op. Locomotora	Juan Lucupe Vargas	Op. Locomotora	Wilson Cuentas Turpo	Op. Locomotora	Wilson Cuentas Turpo	Op. Locomotora	Fidel Mestas Mendoza	Op. Locomotora	Fidel Mestas Mendoza	Op. Locomotora	Fidel Mestas Mendoza
		As. Motorista	Juan Mamani Lauraco	As. Motorista	Wilson Cuentas Turpo	As. Motorista	Wilson Cuentas Turpo	As. Motorista	Fidel Mestas Mendoza	As. Motorista	Fidel Mestas Mendoza	As. Motorista	Fidel Mestas Mendoza
		Chuteo y ranfleo	Paulino Jacusi Mamani	Chuteo y ranfleo	Wilson Cuentas Turpo	Chuteo y ranfleo	Wilson Cuentas Turpo	Chuteo y ranfleo	Fidel Mestas Mendoza	Chuteo y ranfleo	Fidel Mestas Mendoza	Chuteo y ranfleo	Fidel Mestas Mendoza
Chuteo y ranfleo	Yoni Huallasi Alvarez	Chuteo y ranfleo	Wilson Cuentas Turpo	Chuteo y ranfleo	Wilson Cuentas Turpo	Chuteo y ranfleo	Fidel Mestas Mendoza	Chuteo y ranfleo	Fidel Mestas Mendoza	Chuteo y ranfleo	Fidel Mestas Mendoza		
Superficie	Tv. SAN ANTONIO	Sub-TOTAL	35	Sub-TOTAL	35	Sub-TOTAL	35	Sub-TOTAL	35	Sub-TOTAL	35	Sub-TOTAL	35
		Productor	Leonardo Sanchez Fernandez	Productor	Marcelino Mendoza	Productor	Marcelino Mendoza	Productor	Mario Quispe Calsin	Productor	Mario Quispe Calsin	Productor	Mario Quispe Calsin
		Productor	Rolando Castro Mamani	Productor	Mario Quispe Calsin	Productor	Mario Quispe Calsin	Productor	Pedro Teran Huaya	Productor	Pedro Teran Huaya	Productor	Pedro Teran Huaya
		Productor	Pablo Yana Yanqui	Productor	Pedro Teran Huaya	Productor	Pedro Teran Huaya	Productor	Teofilo Coila Belizario	Productor	Teofilo Coila Belizario	Productor	Teofilo Coila Belizario
		Productor	Presnal Larico Mamani	Productor	Mauricio Belisario	Productor	Mauricio Belisario	Productor	Juan Calcirina Hualla	Productor	Juan Calcirina Hualla	Productor	Juan Calcirina Hualla
		Productor	Alfredo Quispe Paucar	Productor	Juan Grande Coari	Productor	Juan Grande Coari	Productor	Juan Grande Coari	Productor	Juan Grande Coari	Productor	Juan Grande Coari
		Productor	Grison Luente Vargas	Productor	Celso Colque Galdos	Productor	Celso Colque Galdos	Productor	Henry Ticoma Ticoma	Productor	Henry Ticoma Ticoma	Productor	Henry Ticoma Ticoma
		Maderador	Fortunato Mamani Yanqui	Maderador	Av. Maderador	Maderador	Av. Maderador	Maderador	Av. Maderador	Maderador	Av. Maderador	Maderador	Av. Maderador
		BODEGUERO	Santos Quispe Benavente	Bodeguero	Av. Maderador	Bodeguero	Av. Maderador	Bodeguero	Av. Maderador	Bodeguero	Av. Maderador	Bodeguero	Av. Maderador
		COMPRESORISTA	Jesús Mamani Jove	Compresorista	Av. Maderador	Compresorista	Av. Maderador	Compresorista	Av. Maderador	Compresorista	Av. Maderador	Compresorista	Av. Maderador
MECANICO	Pablo Soncco Castro	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador		
Personal de produccion	Tv. SAN ANTONIO	Sub-TOTAL	11	Sub-TOTAL	11	Sub-TOTAL	11	Sub-TOTAL	11	Sub-TOTAL	11	Sub-TOTAL	11
		Productor	Rolando Castro Mamani	Productor	Mario Quispe Calsin	Productor	Mario Quispe Calsin	Productor	Pedro Teran Huaya	Productor	Pedro Teran Huaya	Productor	Pedro Teran Huaya
		Productor	Pablo Yana Yanqui	Productor	Teofilo Coila Belizario	Productor	Teofilo Coila Belizario	Productor	Juan Calcirina Hualla	Productor	Juan Calcirina Hualla	Productor	Juan Calcirina Hualla
		Productor	Alfredo Quispe Paucar	Productor	Juan Grande Coari	Productor	Juan Grande Coari	Productor	Celso Colque Galdos	Productor	Celso Colque Galdos	Productor	Celso Colque Galdos
		Productor	Grison Luente Vargas	Productor	Henry Ticoma Ticoma	Productor	Henry Ticoma Ticoma	Productor	Av. Maderador	Productor	Av. Maderador	Productor	Av. Maderador
		Maderador	Fortunato Mamani Yanqui	Maderador	Av. Maderador	Maderador	Av. Maderador	Maderador	Av. Maderador	Maderador	Av. Maderador	Maderador	Av. Maderador
		BODEGUERO	Santos Quispe Benavente	Bodeguero	Av. Maderador	Bodeguero	Av. Maderador	Bodeguero	Av. Maderador	Bodeguero	Av. Maderador	Bodeguero	Av. Maderador
		COMPRESORISTA	Jesús Mamani Jove	Compresorista	Av. Maderador	Compresorista	Av. Maderador	Compresorista	Av. Maderador	Compresorista	Av. Maderador	Compresorista	Av. Maderador
		MECANICO	Pablo Soncco Castro	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador
		MECANICO	Mmanuel Pancca Mamani	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador	Mecanico	Av. Maderador
DESCANSO MEDICO	SUB-TOTAL PERSONAL/AGUARDIA (N° TAREAS)	Sub-TOTAL	0	Sub-TOTAL	0	Sub-TOTAL	0	Sub-TOTAL	0	Sub-TOTAL	0	Sub-TOTAL	0
		Sub-TOTAL	46	Sub-TOTAL	46	Sub-TOTAL	46	Sub-TOTAL	46	Sub-TOTAL	46	Sub-TOTAL	46
		TOTAL PERSONAL/AGUARDIA	49	TOTAL PERSONAL/AGUARDIA	49	TOTAL PERSONAL/AGUARDIA	49	TOTAL PERSONAL/AGUARDIA	49	TOTAL PERSONAL/AGUARDIA	49	TOTAL PERSONAL/AGUARDIA	49
		TOTAL N° TAREAS/DIA	98	TOTAL N° TAREAS/DIA	98	TOTAL N° TAREAS/DIA	98	TOTAL N° TAREAS/DIA	98	TOTAL N° TAREAS/DIA	98	TOTAL N° TAREAS/DIA	98
		TOTAL PERSONAL. 3 GUARDIAS	147	TOTAL PERSONAL. 3 GUARDIAS	147	TOTAL PERSONAL. 3 GUARDIAS	147	TOTAL PERSONAL. 3 GUARDIAS	147	TOTAL PERSONAL. 3 GUARDIAS	147	TOTAL PERSONAL. 3 GUARDIAS	147

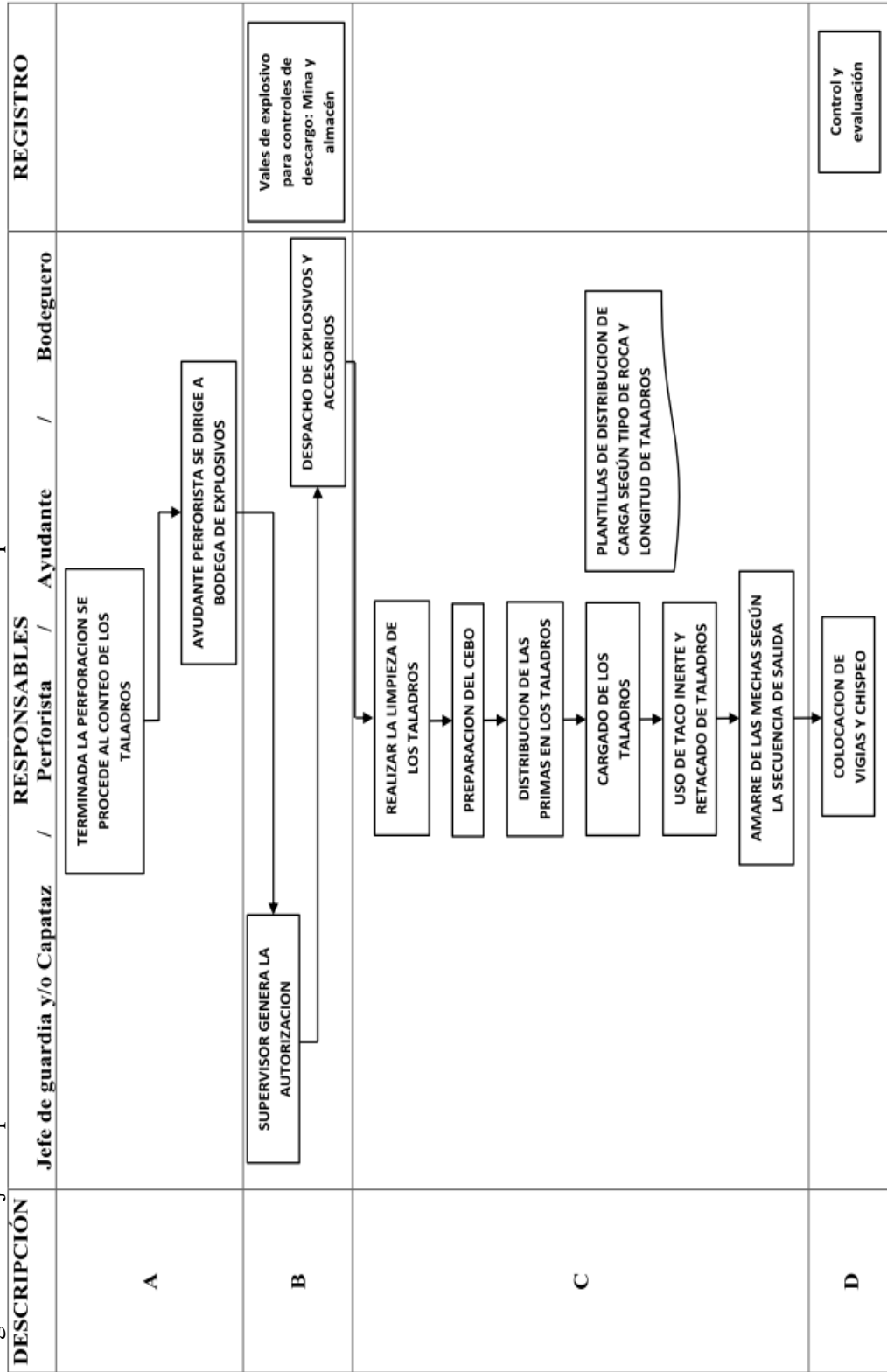
Fuente: Corporación Minera Ananea S.A. - Área Planeamiento 2014.

Anexo 25: Diagrama de flujo del proceso: Procedimiento de perforación en frentes a implantar

DESCRIPCIÓN	Jefe de guardia y/o Capataz / Perforista / Ayudante / Bodeguero	REGISTRO
A	<p>SUPERVISORES PLANEAN EL TRABAJO DE LA GUARDIA, PERFORISTA RECIBE ORDENES</p> <p>PERFORISTA SE DIRIGE A LA LABOR</p> <p>AYUDANTE SE DIRIGE A BODEGA DE HERRAMIENTAS</p> <p>1.-LLEVA ACEITE DE PERFORACION 2.-LLEVA BARRAS</p>	Reporte de guardia
B	<p>VERIFICAN CONDICIONES DE ACCESOS Y LA LABOR</p> <p>ADECUAN LOS ACCESOS Y LA LABOR PARA EL TRABAJO</p> <p>1.-VENTILACION 2.-ORDEN Y LIMPIEZA 3.-REGADO 4.-DESATADO</p>	
C	<p>VERIFICAR MANGUERAS, SERVICIOS Y MÁQUINA</p>	
D	<p>PINTADO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN</p> <p>DISEÑO PLANTILLAS DE DIFERENTES SECCIONES Y POR DUREZA DE ROCA</p>	
E	<p>PERFORACIÓN, CONTROL DEL PARALELISMO Y LONGITUD</p> <p>RETIRAR Y GUARDAR EL EQUIPO</p>	Control y evaluación

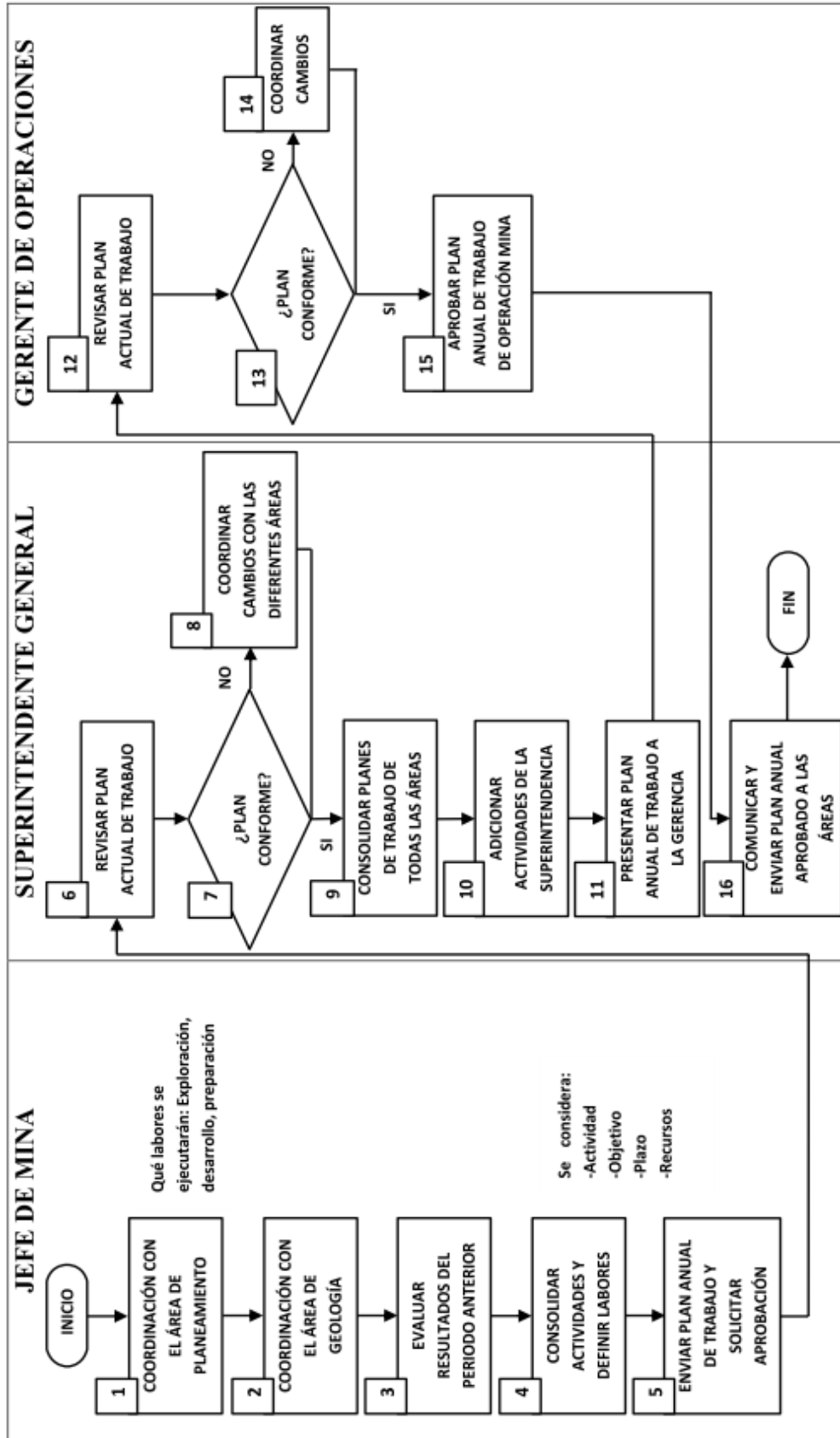
Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL"-Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 26: Diagrama de flujo del proceso: Procedimiento de voladura en frentes a implantar



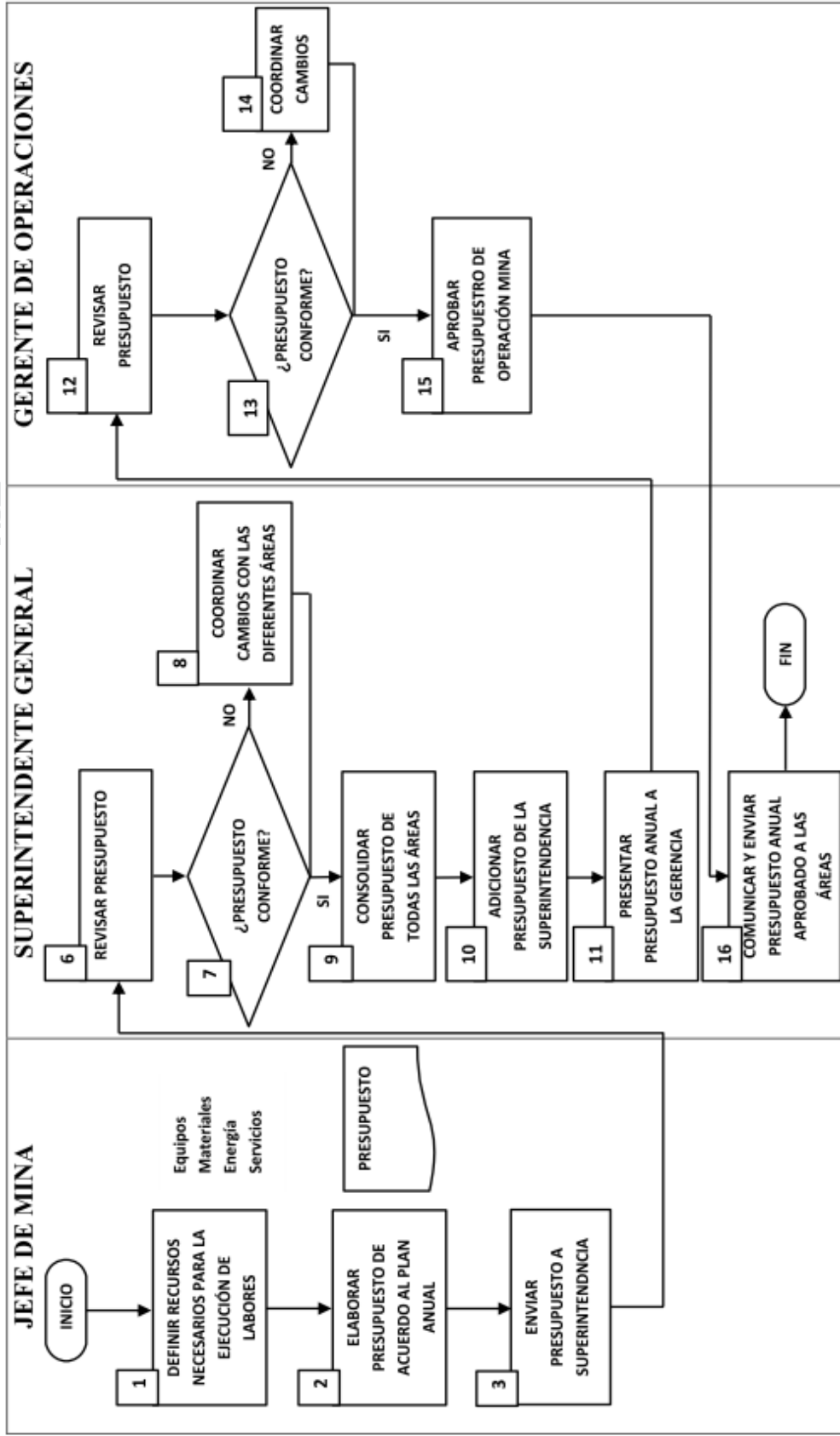
Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL"-Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 27: Diagrama de flujo del proceso: Programa anual



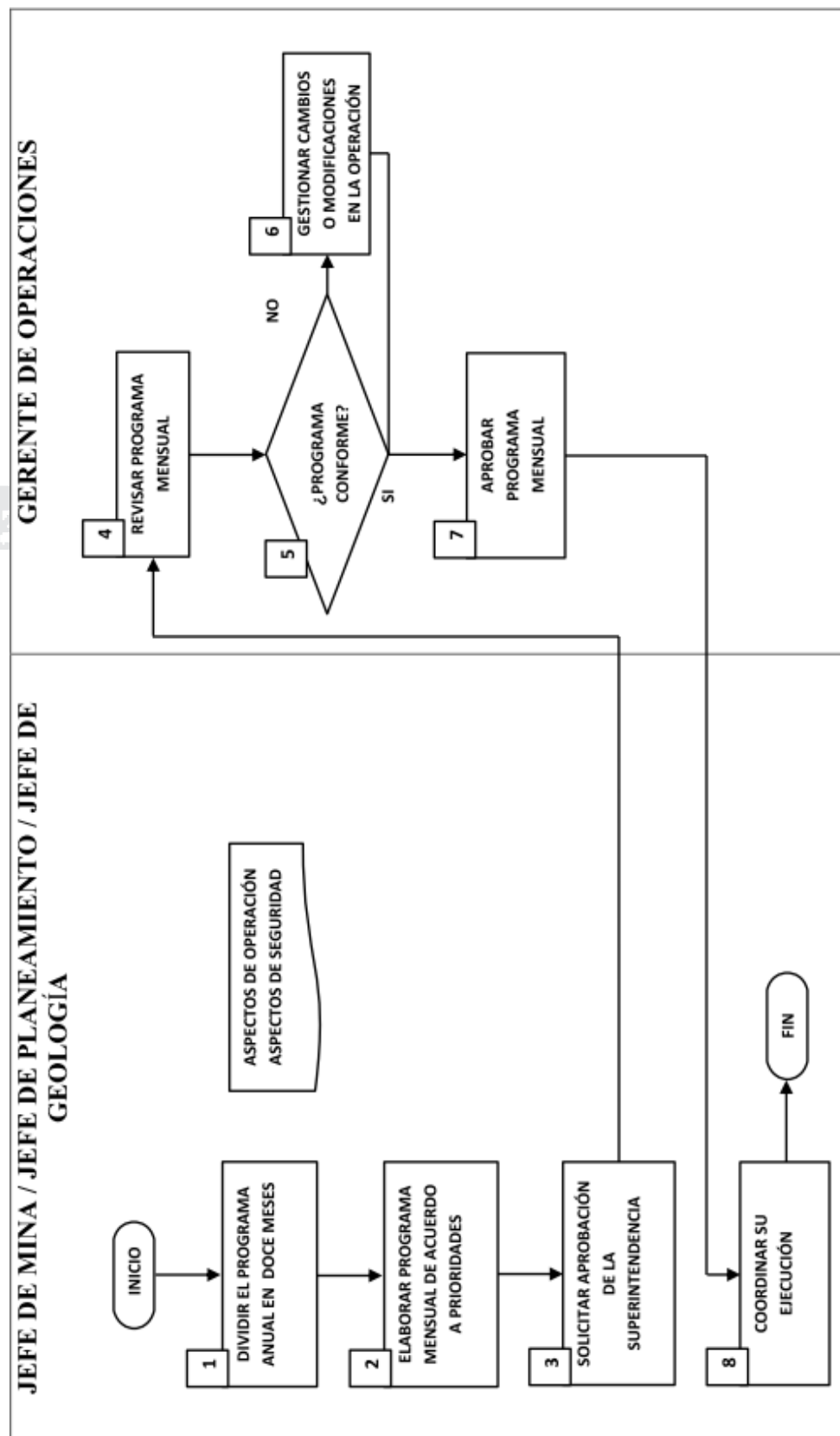
Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL"-Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 28: Diagrama de flujo del proceso: Presupuesto mina



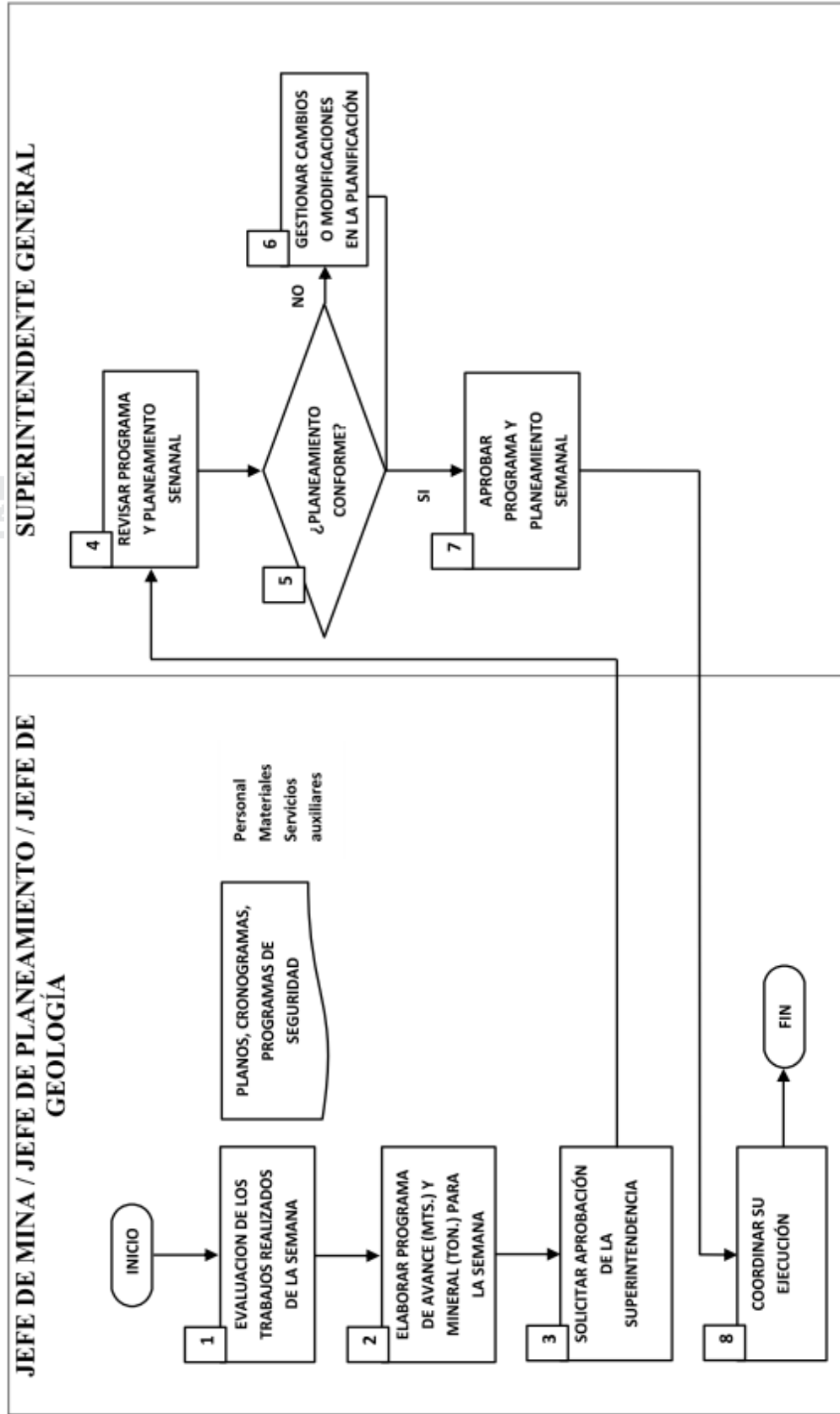
Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL" -Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 29: Diagrama de flujo del proceso: Programa mensual



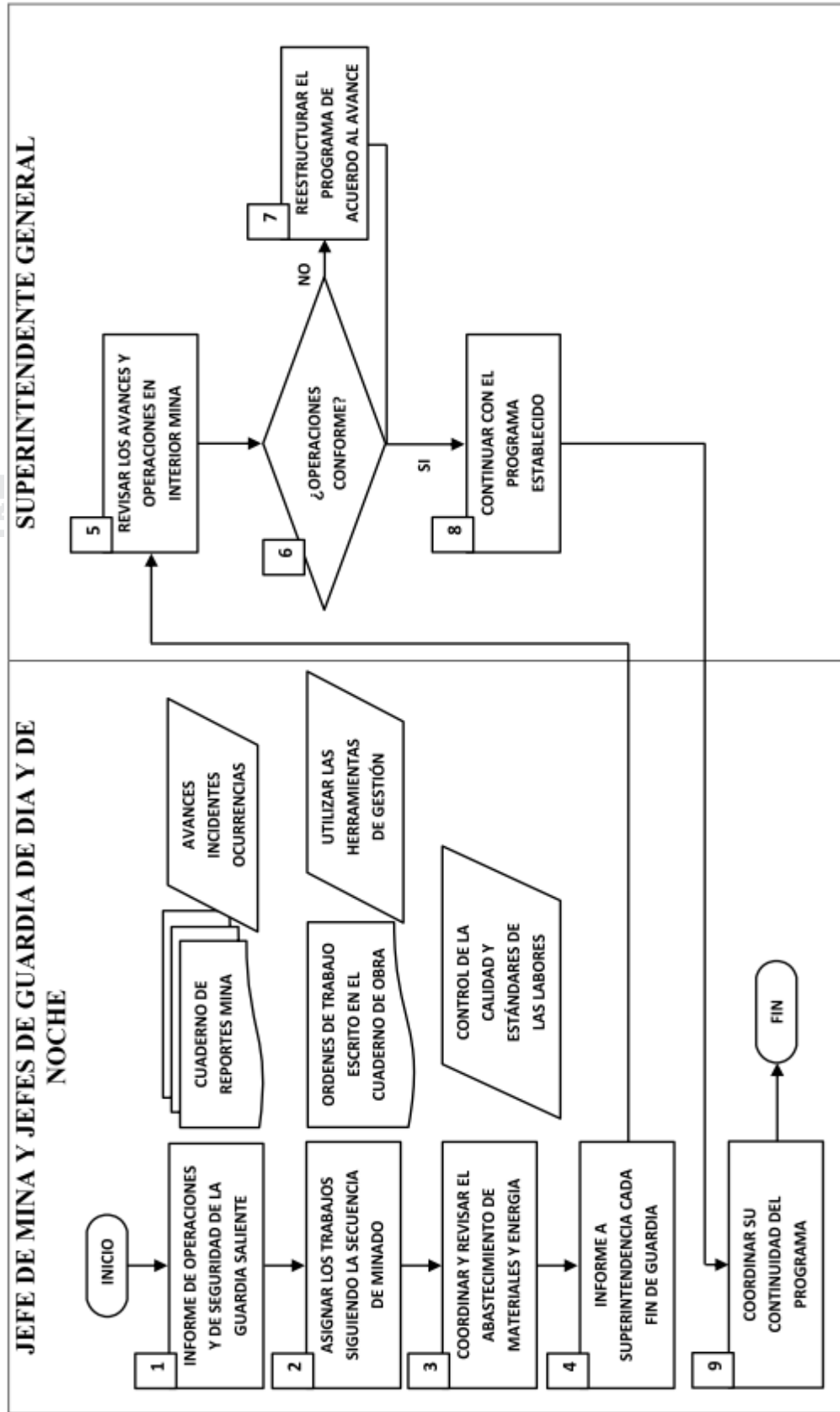
Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL" -Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 30: Diagrama de flujo del proceso: Programa y planeamiento semanal



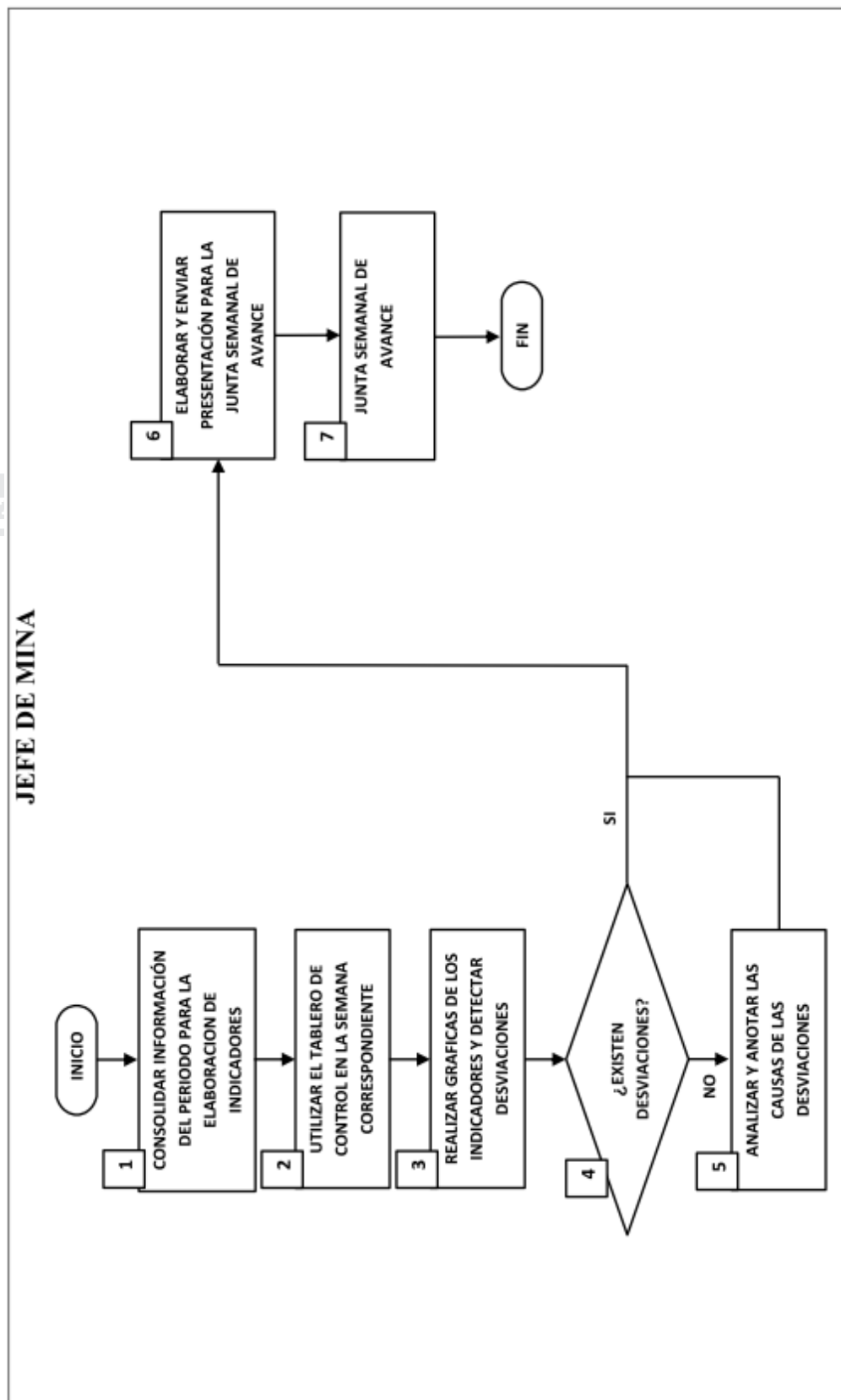
Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL"-Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 31: Diagrama de flujo del proceso: Reunión de coordinación diurna y nocturna



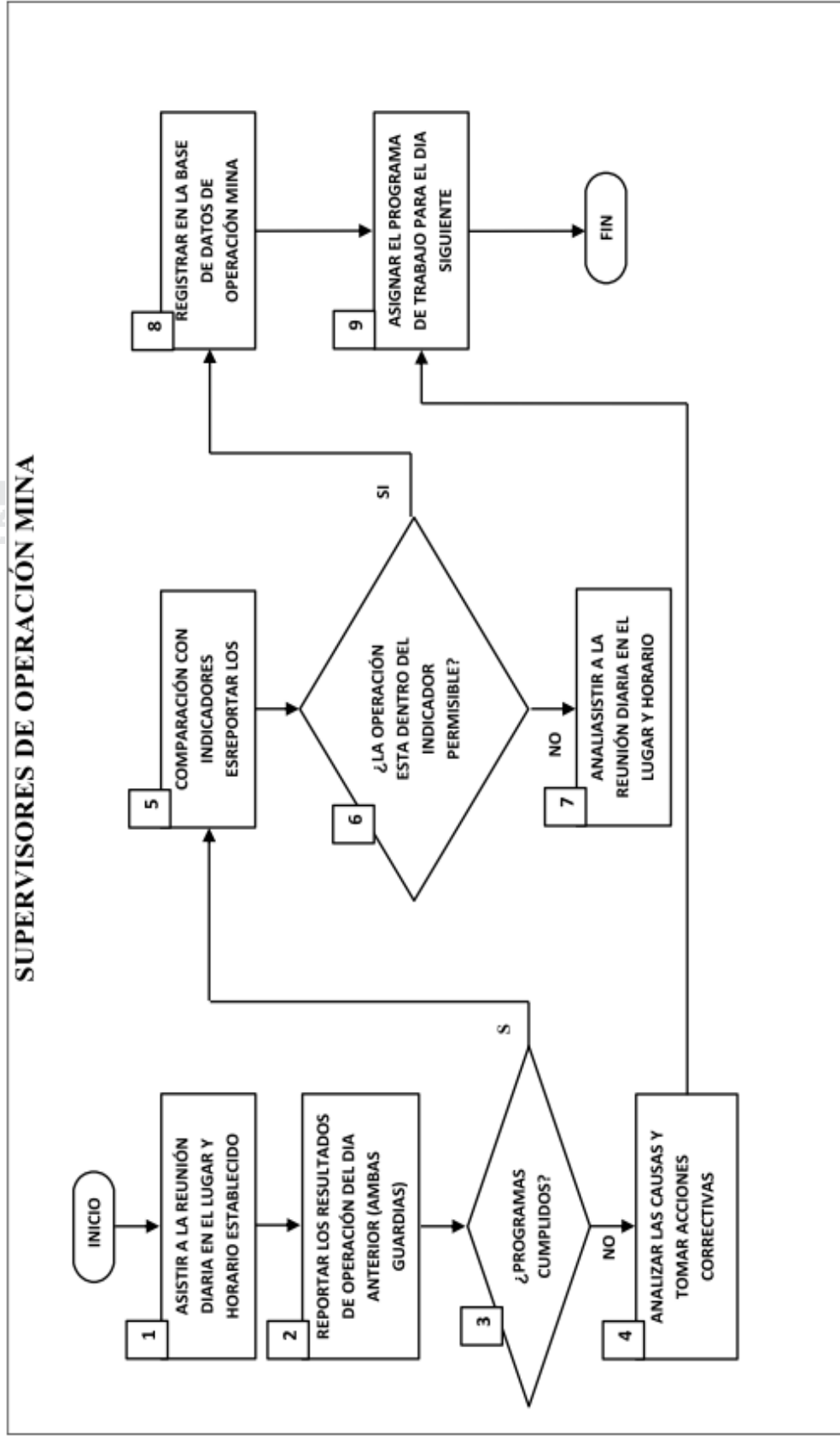
Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL"-Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 32: Diagrama de flujo del proceso: Elaboración de indicadores de gestión



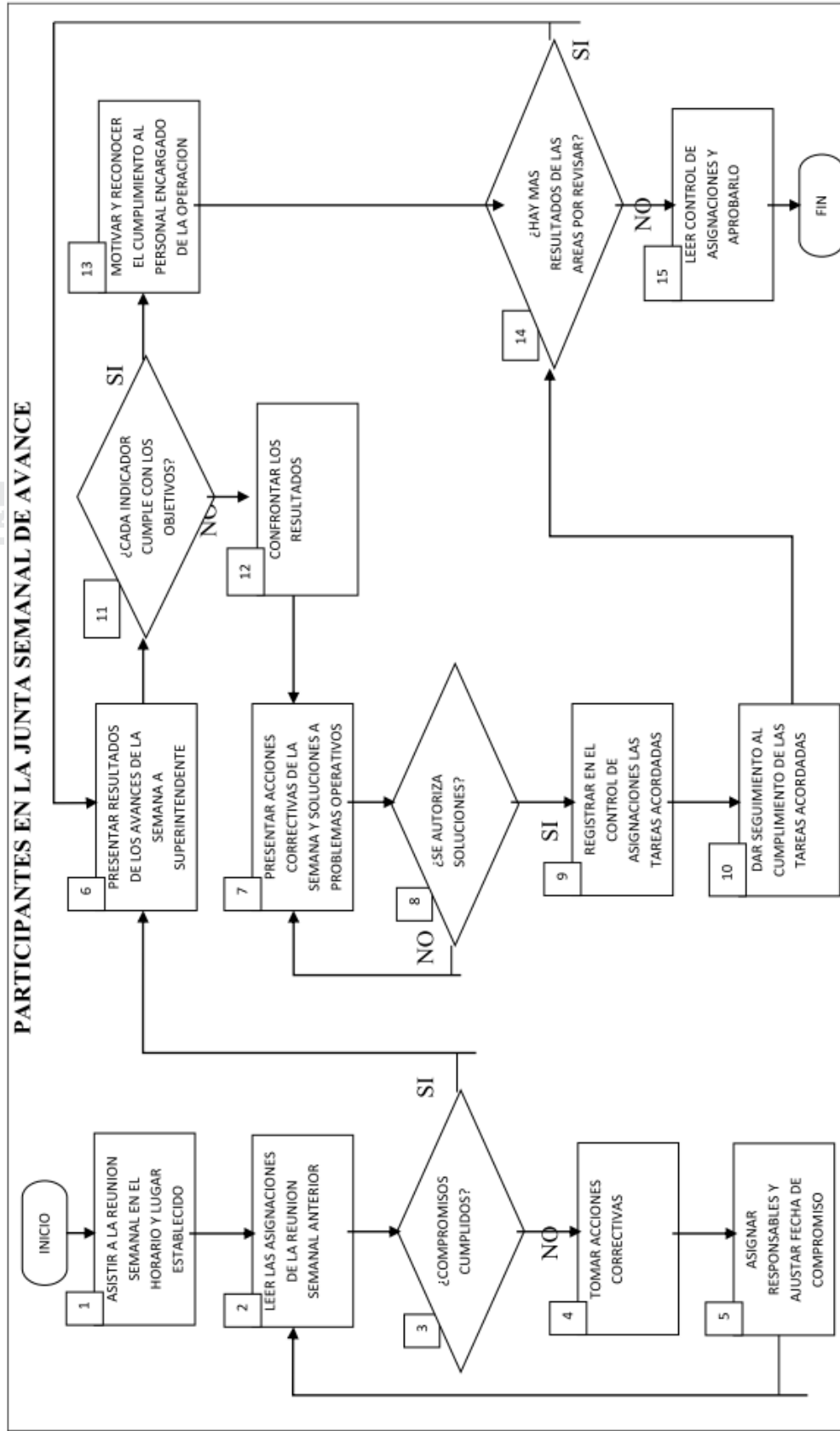
Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL" -Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 33: Diagrama de flujo del proceso: Evaluación operativa diaria



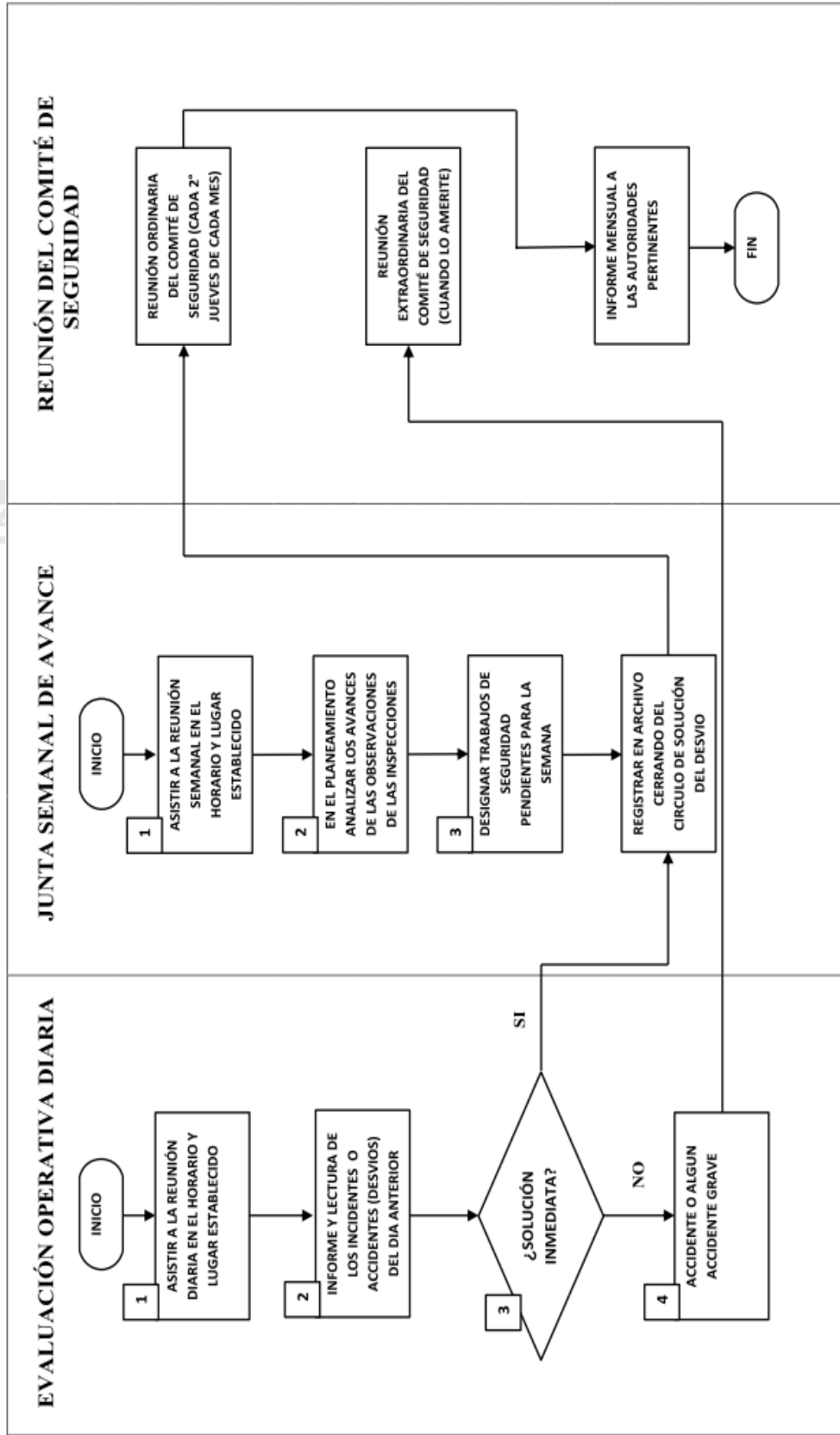
Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL" -Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 34: Diagrama de flujo del proceso: Evaluación operativa semanal



Fuente: Elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL" -Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 35: Diagrama de flujo del proceso: Reunión de seguridad



Fuente: elaborado en base al informe del Círculo de Mejora Continua "PERVOL"-Compañía Minera Poderosa S.A. 2000.

Anexo 36: Control de los indicadores de perforación y voladura mes Julio

MES	jul-14														PROMEDIO GENERAL						
LABOR	GAL-200-W																				
INDICADORES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA	2-jul	4-jul	5-jul	6-jul	9-jul	10-jul	12-jul	13-jul	15-jul	16-jul	17-jul	20-jul	21-jul	22-jul	24-jul	26-jul	27-jul	28-jul	30-jul	31-jul	
Número de taladros	35	36	36	34	37	35	35	35	36	35	35	36	35	34	35	35	33	35	35	35	35
Longitud de perforación (m)	1.32	1.36	1.35	1.35	1.34	1.37	1.36	1.39	1.37	1.38	1.39	1.36	1.38	1.37	1.36	1.39	1.37	1.41	1.39	1.38	1.37
Eficiencia de perforación (%)	0.87	0.89	0.89	0.89	0.88	0.90	0.89	0.91	0.90	0.91	0.91	0.89	0.91	0.90	0.89	0.91	0.90	0.93	0.91	0.91	0.90
Longitud de avance (m)	1.24	1.27	1.29	1.28	1.29	1.31	1.30	1.33	1.32	1.32	1.34	1.30	1.33	1.32	1.33	1.31	1.30	1.32	1.33	1.34	1.31
Eficiencia de avance (%)	0.94	0.93	0.96	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.98	0.94	0.95	0.94	0.96	0.97	0.96
Volumen roto (m3)	5.47	5.60	5.69	5.64	5.69	5.78	5.73	5.87	5.82	5.82	5.91	5.73	5.87	5.82	5.87	5.78	5.73	5.82	5.87	5.91	5.77
Toneladas rotas (TM)	14.76	15.12	15.36	15.24	15.36	15.60	15.48	15.84	15.72	15.72	15.96	15.48	15.84	15.72	15.84	15.60	15.48	15.72	15.84	15.96	15.58
Explosivo (kg./disparo)	13.03	13.72	13.73	12.63	13.81	13.10	13.01	13.03	13.41	13.01	13.01	13.41	13.01	12.61	13.01	13.01	12.22	13.01	13.01	13.01	13.09
Factor de carga (kg./m3)	2.38	2.45	2.41	2.24	2.43	2.27	2.27	2.22	2.30	2.24	2.20	2.34	2.22	2.17	2.22	2.25	2.13	2.24	2.22	2.20	2.27
Factor de potencia (kg./ton.)	0.88	0.91	0.89	0.83	0.90	0.84	0.84	0.82	0.85	0.83	0.82	0.87	0.82	0.80	0.82	0.83	0.79	0.83	0.82	0.82	0.84
Factor de Avance (kg./m)	10.51	10.81	10.64	9.86	10.70	10.00	10.01	9.80	10.16	9.86	9.71	10.31	9.78	9.56	9.78	9.93	9.40	9.86	9.78	9.71	10.01
Rendimiento (m/h-gdia.)	0.41	0.42	0.43	0.43	0.43	0.44	0.43	0.44	0.44	0.44	0.45	0.43	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.44	0.44	0.45	0.44
Fulminante (und.)	32	33	33	31	33	32	32	32	33	32	32	32	32	31	32	32	32	32	32	32	32
Guía (m)	72.5	72.5	65.5	65.5	63.7	74.7	63.7	65.5	63.7	67.4	63.7	63.7	65.6	65.5	69.2	60	61.9	61.9	67.4	61.9	65.8
Dinamita 65 % (und.)	120	120	121	115	122	119	115	120	118	115	115	118	115	112	115	115	110	115	115	115	117
Dinamita 45% (und.)	43	52	51	43	51	45	48	43	50	48	48	50	48	46	48	48	43	48	48	48	47

Fuente: Autor de tesis.

Anexo 37: Análisis de costos operativos mes Julio

PARTIDA:	GAL./CX. 7' x 7'	FECHA DE ELABORACIÓN:	31/07/2014
ELABORADO POR:	LRB	T.C.	2.81
EQUIPO:	Perf. Jack Leg-Pala Neum.	Nº taladros perforados	35 taladros/frente
Tipo de Roca	Dura	Nº taladros cargados	32 taladros/frente
Ancho de Labor	2.10 m	Volumen calculado	6.17 m3/disparo
Altura de Labor	2.10 m	Volumen roto	5.78 m3/disparo
Longitud de barra	5 Pies (1.50 m)	Eff. de voladura	94 %
Long. de perforación	1.40 m	Ton. roto por disparo	16.18 TM
Eff. de perforación	92 %	Cart. dinamita	164 cartuchos/disparo
Avance por disparo	1.31 m	Factor de avance	10.00 kgs./m
Densidad del material	2.8 TM/m3	Factor de carga	2.27 kgs./m3

ITEM	DESCRIPCION	Cantidad	Unidad	% Incid.	P.U.(US\$)	Parcial	SubTotal	TOTAL (US\$)
1.00	MANO DE OBRA							
	Maestro Perforista - Palero	10.50	hh	100%	2.03	21.35	16.30	
	Ayudante Perforista	10.50	hh	100%	1.81	18.98	14.49	
	Peon Servicios	10.50	hh	100%	1.81	18.98	14.49	
		31.50				59.31		45.28
2.00	SUPERVISIÓN							
	Ing. de Seguridad	10.50	hh	10%	4.52	4.74	3.62	
	Ing. de Guardia	10.50	hh	10%	3.39	3.56	2.72	
	Insp. de Seguridad	10.50	hh	10%	2.26	2.37	1.81	
	Capataz	10.50	hh	10%	2.26	2.37	1.81	
	Mecánico	10.50	hh	10%	2.03	2.14	1.63	
	Bodeguero	10.50	hh	10%	1.81	1.90	1.45	
		63.00				17.08		13.04
3.00	PERFORACIÓN							
	Perforadora	175	pp	100%	0.10	17.18	13.11	
	Barra de 4'	175	pp	100%	0.09	16.10	12.29	
	Broca cónica 38mm	175	pp	100%	0.06	10.97	8.37	
	Aceite de perforación	0.25	gln	100%	7.00	1.75	1.34	
	Manguera de 1"	25	m	100%	0.02	0.50	0.38	
	Manguera de 1/2"	25	m	100%	0.01	0.27	0.20	
	Piedra esmeril	1	pza	100%	1.09	1.09	0.83	
	Conex. de aire 1"	1	m	100%	0.05	0.05	0.04	
	Conex. de agua 1/2"	1	m	100%	0.31	0.31	0.24	
						48.21		36.80
4.00	VOLADURA							
	Dinamita Semexa 65%, 7/8"x7"	117	cart	100%	0.46	53.30	40.68	
	Dinamita Semexa 45%, 7/8"x7"	47	cart	100%	0.32	15.05	11.49	
	Fulminante Común N° 8	32	und	100%	0.24	7.74	5.91	
	Mecha lenta	68.28	m	100%	0.22	14.82	11.31	
	Guia de chispeo	0.61	m	100%	0.22	0.13	0.10	
						91.05		69.50
5.00	IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD							
		4	tarea	100%	1.56	6.25	4.77	4.77
6.00	HERRAMIENTAS							
		1	tarea	100%	4.42	4.42	3.38	3.38
7.00	EQUIPOS Y VENTILACIÓN							
	Pala Neumática	1.31	m	100%	3.39	4.44	3.39	
	Ventilador	1	h	100%	0	0.00	0.00	
	Manga de ventilación 15"	1	m	100%	0	0.00	0.00	
						4.44		3.39
COSTO POR METRO LINEAL (US\$/m)								176.16

Fuente: Autor de tesis.

Anexo 38: Control de los indicadores de perforación y voladura mes Agosto

MES	ago-14														PROMEDIO GENERAL							
	GAL-200-W																					
LABOR	1-ago	2-ago	3-ago	4-ago	5-ago	7-ago	8-ago	10-ago	11-ago	13-ago	14-ago	15-ago	17-ago	18-ago	19-ago	22-ago	23-ago	25-ago	27-ago	28-ago	30-ago	
INDICADORES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA																						
Número de taladros	35	35	35	35	35	36	35	34	35	35	33	35	35	34	35	35	36	35	35	35	35	35
Longitud de perforación (m)	1.37	1.4	1.39	1.39	1.38	1.39	1.38	1.41	1.4	1.38	1.39	1.38	1.39	1.37	1.37	1.39	1.38	1.41	1.4	1.38	1.39	1.39
Eficiencia de perforación (%)	0.90	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.93	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.91	0.91	0.93	0.92	0.91	0.91	0.91
Longitud de avance (m)	1.32	1.31	1.32	1.32	1.33	1.32	1.31	1.31	1.33	1.32	1.31	1.33	1.31	1.32	1.32	1.33	1.31	1.33	1.32	1.32	1.32	1.32
Eficiencia de avance (%)	0.96	0.94	0.95	0.95	0.96	0.95	0.95	0.93	0.95	0.96	0.94	0.96	0.94	0.96	0.96	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94	0.96	0.95
Volumen roto (m3)	5.82	5.78	5.82	5.82	5.87	5.82	5.78	5.78	5.87	5.82	5.78	5.87	5.78	5.82	5.82	5.87	5.78	5.87	5.82	5.82	5.87	5.82
Toneladas rotas (TM)	15.72	15.60	15.72	15.72	15.84	15.72	15.60	15.60	15.84	15.72	15.60	15.84	15.60	15.72	15.72	15.84	15.60	15.84	15.72	15.84	15.72	15.72
Explosivo (kg./disparo)	13.01	13.01	13.01	13.01	13.01	13.01	13.01	12.61	13.01	13.01	12.22	13.01	13.01	12.61	13.01	13.01	13.41	13.01	13.01	13.01	13.01	13.01
Factor de carga (kg./m3)	2.24	2.25	2.24	2.24	2.22	2.24	2.25	2.18	2.22	2.24	2.11	2.22	2.25	2.17	2.24	2.22	2.32	2.22	2.24	2.24	2.24	2.24
Factor de potencia (kg./ton.)	0.83	0.83	0.83	0.83	0.82	0.83	0.83	0.81	0.82	0.83	0.78	0.82	0.83	0.80	0.83	0.82	0.86	0.82	0.83	0.82	0.83	0.83
Factor de Avance (kg./m)	9.86	9.93	9.86	9.86	9.78	9.86	9.93	9.63	9.78	9.86	9.33	9.78	9.93	9.56	9.86	9.78	10.24	9.78	9.86	9.78	9.86	9.86
Rendimiento (m/h-gdia.)	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
Fulminante (und.)	32	32	32	32	32	33	32	31	32	32	30	32	32	31	32	32	32	32	32	32	32	32
Guia (m)	63.7	65.5	67.4	63.7	67.4	63.7	67.4	61.9	63.7	60	63.7	67.4	65.5	65.5	65.5	61.9	65.5	60	65.5	61.9	69.2	64.3
Dinamita 65 % (und.)	115	115	115	115	115	115	115	112	115	115	109	115	115	112	115	115	118	115	115	115	115	115
Dinamita 45% (und.)	48	48	48	48	48	48	48	46	48	48	44	48	48	46	48	48	50	48	48	48	48	48

Fuente: Autor de tesis.

Anexo 39: Análisis de costos operativos mes Agosto

PARTIDA:	GAL./CX. 7' x 7'	FECHA DE ELABORACIÓN:	31/08/2014
ELABORADO POR:	LRB	T.C.	2.81
EQUIPO:	Perf. Jack Leg-Pala Neum.	N° taladros perforados	35 taladros/frente
Tipo de Roca	Dura	N° taladros cargados	32 taladros/frente
Ancho de Labor	2.10 m	Volumen calculado	6.17 m3/disparo
Altura de Labor	2.10 m	Volumen roto	5.82 m3/disparo
Longitud de barra	5 Pies (1.50 m)	Eff. de voladura	94 %
Long. de perforación	1.40 m	Ton. roto por disparo	16.30 TM
Eff. de perforación	92 %	Cart. dinamita	163 cartuchos/disparo
Avance por disparo	1.32 m	Factor de avance	9.86 kgs./m
Densidad del material	2.8 TM/m3	Factor de carga	2.24 kgs./m3

ITEM	DESCRIPCION	Cantidad	Unidad	% Incid.	P.U.(US\$)	Parcial	SubTotal	TOTAL (US\$)
1.00	MANO DE OBRA							
	Maestro Perforista - Palero	10.50	hh	100%	2.03	21.35	16.18	
	Ayudante Perforista	10.50	hh	100%	1.81	18.98	14.38	
	Peon Servicios	10.50	hh	100%	1.81	18.98	14.38	
		31.50				59.31		44.93
2.00	SUPERVISIÓN							
	Ing. de Seguridad	10.50	hh	10%	4.52	4.74	3.59	
	Ing. de Guardia	10.50	hh	10%	3.39	3.56	2.70	
	Insp. de Seguridad	10.50	hh	10%	2.26	2.37	1.80	
	Capataz	10.50	hh	10%	2.26	2.37	1.80	
	Mecanico	10.50	hh	10%	2.03	2.14	1.62	
	Bodeguero	10.50	hh	10%	1.81	1.90	1.44	
		63.00				17.08		12.94
3.00	PERFORACIÓN							
	Perforadora	175	pp	100%	0.10	17.18	13.01	
	Barra de 4'	175	pp	100%	0.09	16.10	12.19	
	Broca cónica 38mm	175	pp	100%	0.06	10.97	8.31	
	Aceite de perforacion	0.25	gln	100%	7.00	1.75	1.33	
	Manguera de 1"	25	m	100%	0.02	0.50	0.38	
	Manguera de 1/2"	25	m	100%	0.01	0.27	0.20	
	Piedra esmeril	1	pza	100%	1.09	1.09	0.82	
	Conex. de aire 1"	1	m	100%	0.05	0.05	0.04	
	Conex. de agua 1/2"	1	m	100%	0.31	0.31	0.23	
						48.21		36.52
4.00	VOLADURA							
	Dinamita Semexa 65%, 7/8"x7"	115	cart	100%	0.46	52.38	39.69	
	Dinamita Semexa 45%, 7/8"x7"	48	cart	100%	0.32	15.37	11.65	
	Fulminante Común N° 8	32	und	100%	0.24	7.74	5.87	
	Mecha lenta	68.28	m	100%	0.22	14.82	11.23	
	Guía de chispeo	0.61	m	100%	0.22	0.13	0.10	
						90.46		68.53
5.00	IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD							
		4	tarea	100%	1.56	6.25	4.74	4.74
6.00	HERRAMIENTAS							
		1	tarea	100%	4.42	4.42	3.35	3.35
7.00	EQUIPOS Y VENTILACIÓN							
	Pala Neumática	1.32	m	100%	3.39	4.47	3.39	
	Ventilador	1	h	100%	0	0.00	0.00	
	Manga de ventilación 15"	1	m	100%	0	0.00	0.00	
						4.47		3.39
COSTO POR METRO LINEAL (US\$/m)								174.40

Autor de tesis.

Anexo 40: Resumen de disparos realizados U.M. El Cofre

RESUMEN DE DISPAROS REALIZADOS

DISPAROS (DESCRIPCION)	Und.	Disp. 1	Disp. 2	Disp. 3	Disp. 4	Disp. 5
Empresa Especializada		COMISERGE	COMISERGE	COMISERGE	COMISERGE	COMISERGE
Fecha		16-oct-10	16-oct-10	17-oct-10	18-oct-10	19-oct-10
Turno		Día	Día	Día	Día	Día
Labor		BP125S	GAL540S	GAL540S	GAL540S	GAL540S
Ancho	m	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Altura	m	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Sección	m2	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41
N° de taladro de alivio (arranque)	und	3	6	6	4	4
N° de taladro de alivio (corona)	und	0	0	0	0	0
N° Total taladros perforados	und	29	41	41	32	32
Longitud promedio de taladro	m	1.70	1.45	1.45	1.45	1.45
Diametro de Taladro	mm	38	38	38	38	38
Densidad de roca	tn/m3	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
RMR		30 - 40	40 - 50	35 - 45	35 - 40	35 - 40
ACCESORIOS DE VOLADURA						
Ensamblado 2.10 mts. C/C	Pza	27				
Ensamblado 2.10 mts. S/C	Pza		36	36	32	32
Mecha Rápida	m	10.0				
Guía	m		1.0	1.0	1.0	1.0
EXPLOSIVOS						
Cart.: Exadit 45 (7/8" x 7")	cart.					45
Cart.: Semexsa 45 (7/8" x 7")	cart.	92	105	105	70	48
Cart.: Semexsa 65 (7/8" x 7")	cart.	38	120	120	120	97
PESO: Total de Explosivos	kg	10.4	18.0	18.0	15.3	15.1
RESULTADOS DE VOLADURA						
Metros Perforados	m perf	49.3	59.5	59.5	46.4	46.4
Ancho Volado	m	2.10	2.52	2.46	2.19	2.15
Alto Volado	m	2.10	2.46	2.55	2.26	2.16
Avance	m	0.30	1.20	1.20	1.40	1.42
Volumen Roto	m3	1.3	7.4	7.5	6.9	6.6
Tonelaje Roto	tn	3.3	18.6	18.8	17.3	16.5
Factor de Carga	kg/m3	7.83	2.43	2.40	2.20	2.29
Factor de Potencia	kg/tn	3.13	0.97	0.96	0.88	0.92
Factor de Avance	kg/m	34.54	15.04	15.04	10.91	10.63
Eficiencia	%	18	83	83	97	98
Sobrerotura	%	0	41	42	12	5
Tiros Cortados	und	0	0	0	0	0

Fuente: Informe de visita técnica U.M. El Cofre-EXSA 2010.