



Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial**

**Aplicación de herramientas Lean Mining para la optimización del proceso
de voladura en la extracción de mineral de una empresa dedicada a la
minería subterránea**

Tesis presentada por:

Flores Quicaña, Daphne Jazmin

ORCID: 0009-0003-8199-267X

para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Asesor:

Dr. Carrasco Bocangel, Julio Cesar

ORCID: 0000-0001-9787-7113

Arequipa – Perú

2026

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA INDUSTRIAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 27 de enero del 2026

Dictamen: 014096-C-EPII-2026

Visto el borrador del expediente 014096, presentado por:

2019222202 - FLORES QUICAÑA DAPHNE JAZMIN

Titulado:

**APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN MINING PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO
DE VOLADURA EN LA EXTRACCIÓN DE MINERAL DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA
MINERÍA SUBTERRÁNEA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO INDUSTRIAL

**29291265 - DELGADO MONTESINOS MAX EDWIN
DICTAMINADOR**



**29276357 - RODRIGUEZ SALAZAR OSWALDO RENE
DICTAMINADOR**



**29453832 - VALDIVIA PORTUGAL CESAR
DICTAMINADOR**



APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN MINING PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA EN LA EXTRACCIÓN DE MINERAL DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA MINERÍA SUBTERRÁNEA

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.esic.edu Fuente de Internet	1%
6	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	<1%
8	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	personal.cityu.edu.hk Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	repository.unipiloto.edu.co Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A mi familia y seres queridos, por su amor, confianza y apoyo constante.

A Dios, por darme la fuerza y la perseverancia.



AGRADECIMIENTOS

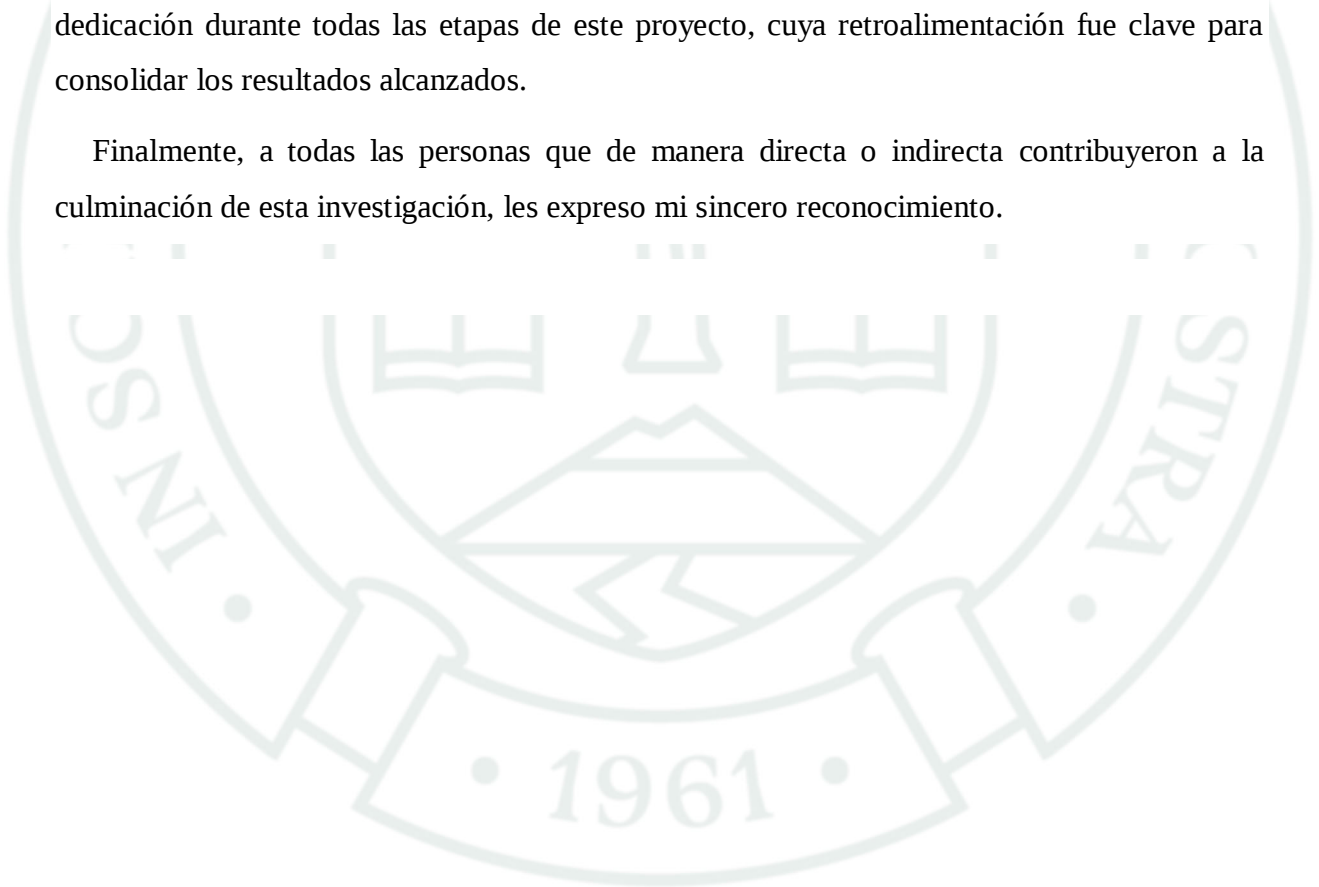
Agradezco de manera especial a la empresa minera que me brindó la oportunidad de realizar este estudio, permitiéndome acceder a la información necesaria y facilitando la toma de datos en campo, lo cual fue fundamental para el desarrollo de la presente investigación.

Expreso mi gratitud al supervisor del área de voladura, por su apoyo constante, orientación técnica y apertura para compartir su experiencia, lo que enriqueció enormemente la calidad del análisis y la propuesta planteada.

A la Universidad, por haberme proporcionado la formación académica, las herramientas metodológicas y el acompañamiento necesario durante mi proceso de formación profesional, garantizando el rigor de este trabajo.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento a mi asesor de tesis, por su guía, paciencia y dedicación durante todas las etapas de este proyecto, cuya retroalimentación fue clave para consolidar los resultados alcanzados.

Finalmente, a todas las personas que de manera directa o indirecta contribuyeron a la culminación de esta investigación, les expreso mi sincero reconocimiento.



RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo optimizar el proceso de voladura en una empresa dedicada a la minería subterránea, debido a la existencia de bajos niveles de productividad, incumplimientos recurrentes en la programación de voladuras y elevados sobrecostos operativos. El problema principal identificado fue el uso ineficiente de los recursos, evidenciado en la acumulación de 1020 horas muertas en equipos jumbo en un periodo de cuatro meses, incumplimientos de hasta el 54 % en la ejecución de voladuras, consumo variable de insumos explosivos y ausencia de estandarización en actividades críticas del proceso. El objetivo general del estudio fue aplicar herramientas Lean Mining para optimizar el proceso de voladura en la extracción de mineral.

La propuesta de mejora se estructuró bajo el enfoque del ciclo PHVA (Planificar–Hacer–Verificar–Actuar) e incluyó la aplicación de herramientas como 5S, estandarización de procesos, gestión visual, análisis de causa raíz, programas de mantenimiento preventivo y reuniones de retroalimentación post-voladura. Estas acciones estuvieron orientadas a reducir tiempos improductivos, mejorar la coordinación entre áreas, optimizar el uso de insumos y fortalecer el control operativo del proceso.

Los resultados obtenidos evidencian mejoras significativas tanto a nivel técnico como económico. Se proyectó una ganancia promedio de S/. 66,868.42 por disparo, derivada de la reducción de horas muertas y del mejor aprovechamiento de los recursos. Asimismo, el beneficio económico anual estimado asciende a S/. 11,835,710.34, frente a un costo de implementación de S/. 8,714,930. El análisis Beneficio/Costo (B/C) arrojó un valor de 1.36, lo que demuestra que la propuesta es económicamente viable, ya que por cada sol invertido se obtiene un retorno superior a un sol. Adicionalmente, el periodo de recuperación de la inversión (Payback) se estimó en 8.84 meses, lo cual refuerza la rentabilidad de la propuesta planteada.

En conclusión, la aplicación de herramientas Lean Mining permite optimizar el proceso de voladura en minería subterránea, reduciendo costos operativos, mejorando la eficiencia y fortaleciendo la sostenibilidad económica de la operación.

Palabras clave: Lean Mining, productividad, 5S.

ABSTRACT

The present research aimed to optimize the blasting process in an underground mining company due to low productivity levels, recurrent noncompliance with blasting schedules, and high operational cost overruns. The main problem identified was the inefficient use of resources, evidenced by the accumulation of 1,020 idle hours in jumbo drilling equipment over a four-month period, noncompliance rates of up to 54% in blasting execution, variable consumption of explosive inputs, and the lack of standardization in critical process activities. The general objective of the study was to apply Lean Mining tools to optimize the blasting process in mineral extraction.

The improvement proposal was structured under the PDCA cycle approach (Plan–Do–Check–Act) and included the application of tools such as 5S, process standardization, visual management, root cause analysis, preventive maintenance programs, and post-blasting feedback meetings. These actions were aimed at reducing non-productive time, improving inter-departmental coordination, optimizing the use of inputs, and strengthening operational process control.

The results obtained show significant improvements at both technical and economic levels. An average projected gain of S/. 66,868.42 per blast was estimated, derived from the reduction of idle time and better resource utilization. Likewise, the estimated annual economic benefit amounts to S/. 11,835,710.34, compared to an implementation cost of S/. 8,714,930. The Benefit–Cost (B/C) analysis yielded a value of 1.36, demonstrating that the proposal is economically viable, as for every sol invested, a return greater than one sol is obtained. Additionally, the investment payback period was estimated at 8.84 months, further reinforcing the profitability of the proposed improvement.

In conclusion, the application of Lean Mining tools enables the optimization of the blasting process in underground mining by reducing operational costs, improving efficiency, and strengthening the economic sustainability of the operation.

Keywords: Lean Mining, productivity, 5S.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.1.1. Descripción del Problema.....	2
1.1.2. Formulación del Problema.....	7
1.1.3. Sistematización del problema	7
1.2. Objetivos de la investigación.....	7
1.2.1. Objetivo General	7
1.2.2. Objetivos Específicos	7
1.3. Justificación del estudio	8
1.3.1. Justificación Práctica.....	8
1.3.2. Justificación Económica	8
1.3.3. Justificación Metodológica.....	9
1.3.4. Justificación Profesional y/o personal.....	9
1.4. Delimitaciones	9
1.4.1. Delimitación temática.....	9
1.4.2. Delimitación espacial	10
1.4.3. Delimitación temporal.....	10
1.5. Hipótesis.....	10
1.6. Operacionalización de Variables	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. Antecedentes de la investigación.....	12
2.2. Marco teórico conceptual	18
2.2.1. La Filosofía Lean	18
2.2.2. Mejora continua	22
2.2.3. Lean Mining.....	23
2.2.4. Aplicación de las 5S	27
2.2.5. Estandarización de Procesos.....	30

2.2.6.	Beneficios de la estandarización en la reducción de desperdicios y errores	31
2.2.7.	Kaizen (Mejora Continua)	31
2.2.8.	Proceso de Voladura.....	33
CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....		35
3.1.	Diseño de la Investigación	35
3.2.	Tipo de Investigación.....	35
3.3.	Nivel de la Investigación.....	35
3.4.	Método de la Investigación	36
3.5.	Levantamiento de información	36
3.5.1.	Técnicas	36
3.5.2.	Instrumentos.....	36
3.6.	Métodos de ingeniería a aplicarse.....	36
3.7.	Cobertura de estudio	37
3.7.1.	Población	37
3.7.2.	Muestra	37
CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL		38
4.1.	Datos Generales de la Empresa	38
4.1.1.	Origen e Historia	38
4.1.2.	Cultura Empresarial.....	40
4.1.3.	Estructura Organizacional	41
4.1.4.	Principales Procesos.....	45
4.2.	Proceso de Voladura	51
4.2.1.	Áreas Involucradas.....	53
4.2.2.	Descripción del proceso de voladura	57
4.2.3.	Análisis FODA.....	66
4.2.4.	Información cuantitativa del proceso de Voladura	68
4.3.	Análisis de causa raíz	89
4.3.1.	Descripción de los problemas encontrados	89
4.3.2.	Los 5W del Análisis de Causa Raíz	90
CAPÍTULO V: PROPUESTA DE MEJORA.....		92
5.1.	Indentificación de oportunidades de mejora	92
5.2.	Estrategia General de Mejora	93
5.2.1.	Enfoque metodológico: Ciclo PHVA.....	93
5.2.2.	Objetivos de la propuesta de mejora	93

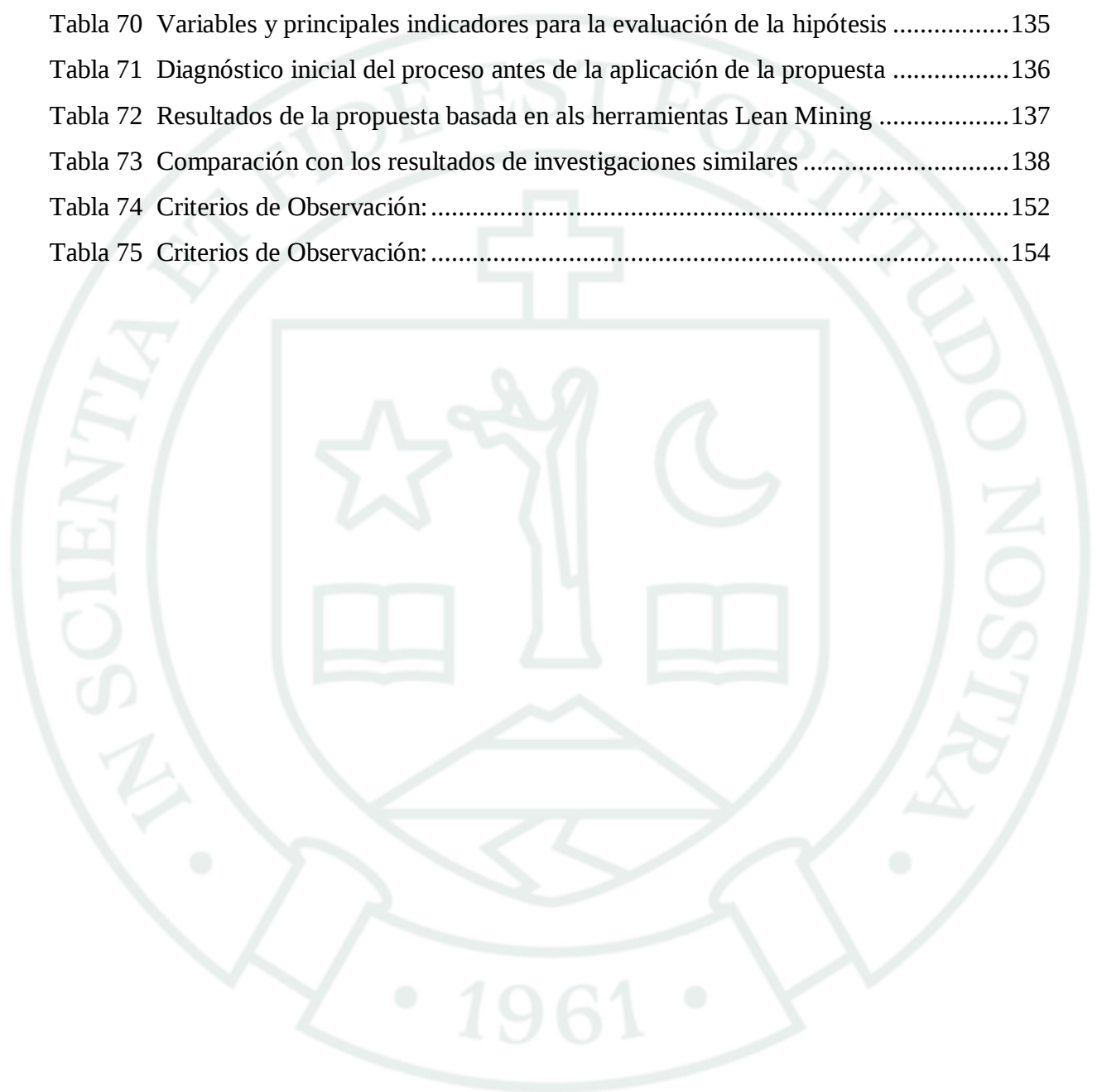
5.3.	Desarrollo de la Metodología 5S	93
5.3.1.	Diagnóstico inicial de las 5S.....	93
5.3.2.	Fase 1: Planear	96
5.3.3.	Fase 2. Hacer.....	97
5.3.4.	Fase 3: Verificar.....	109
5.3.5.	Fase 4: Actuar	114
5.4.	Integración con Otras Herramientas Lean Mining Propuestas.....	115
5.4.1.	Estandarización de Protocolos	115
5.4.2.	Gestión Visual.....	118
5.4.3.	Reuniones de Coordinación Inter-áreas	120
5.4.4.	Kaizen / Hoshin Kanri.....	121
5.4.5.	Matriz de Habilidades del Personal.....	122
5.5.	Indicadores de Seguimiento y Control.....	124
5.6.	Consideraciones para la Implementación Real.....	125
	CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA	128
6.1.	Costos directos e indirectos por turno por disparo	128
6.1.1.	Costos directos por turno.....	128
6.1.2.	Costos indirectos por disparo.....	129
6.1.3.	Costo total del proceso de voladura por disparo	130
6.2.	Ventas anuales de disparos programados.....	130
6.3.	Costos de Implementación de la propuesta	130
6.4.	Aplicando la metodología	131
6.5.	Beneficios Obtenidos	133
6.6.	Análisis Beneficio/Costo (B/C)	134
6.7.	Periodo de Recuperación (Payback)	134
6.8.	Comprobación de la hipótesis	135
6.8.1.	Formulación de la hipótesis	135
6.8.2.	Situación inicial del proceso de voladura	136
6.8.3.	Resultados obtenidos con la propuesta Lean Mining.....	136
6.8.4.	Contraste y comprobación de la hipótesis	137
6.8.5.	Comparación con resultados de estudios previos	138
	CONCLUSIONES.....	140
	RECOMENDACIONES.....	141
	REFERENCIAS	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de Variables	11
Tabla 2 Causas de los disparos no ejecutados detalladas (Junio 24 – septiembre 24)	69
Tabla 3 Cuadro detallado de disparos no ejecutados en el mes de junio	71
Tabla 4 Cuadro detallado de disparos no ejecutados en el mes de julio	73
Tabla 5 Cuadro detallado de disparos no ejecutados en el mes de agosto	75
Tabla 6 Cuadro detallado de disparos no ejecutados en el mes de septiembre	78
Tabla 7 Desarrollo de los Cinco Porque's	90
Tabla 8 Identificación de oportunidades de mejora	92
Tabla 9 Check list de evaluación inicial 5S en la zona de almacén y carga de voladura	94
Tabla 10 Resumen de evaluación inicial de las 5S en la zona de carga y preparación de voladuras	95
Tabla 11 Plan de implementación de las 5S en la zona de carga y preparación de voladuras	96
Tabla 12 Equipo de trabajo y responsabilidades para la implementación de las 5S	97
Tabla 13 Sistema de Identificación Visual	98
Tabla 14 Ejemplo de aplicación	98
Tabla 15 Ejemplo de formato de control de la rutina mensual	99
Tabla 16 Ejemplo de formato de control de en descarte de Materiales	99
Tabla 17 Reporte Semanal de Clasificación	99
Tabla 18 Ejemplo de Inventario Mensual	100
Tabla 19 Formato de reporte de estado de vías	101
Tabla 20 Sistema de identificación visual para herramientas y materiales	103
Tabla 21 Calendario rotativo mensual de responsabilidades	105
Tabla 22 Checklist diario de limpieza de área	105
Tabla 23 Procedimiento Visuales y Escritos	106
Tabla 24 Zonificación de áreas con pintura de demarcación	107
Tabla 25 Capacitación Operativa de los Estándares 5S	108
Tabla 26 Responsable rotativo por turno del Comité 5S	108
Tabla 27 Evaluaciones mensuales con reconocimientos simbólicos a las mejores áreas.	108
Tabla 28 Check list de Criterio de evaluación	109
Tabla 29 Formato de Control de estaciones de trabajo con señalización	109
Tabla 30 Formato de Control de Material según frecuencia de uso	110
Tabla 31 Formato de Control de codificación por colores y QR	110

Tabla 32	Formato de Control de ‘Minutos de Limpieza’	111
Tabla 33	Formato de Control de Responsabilidades por cuadrilla	111
Tabla 34	Formato de Control de Checklist diario de limpieza	112
Tabla 35	Formato de Control de Procedimientos visuales	112
Tabla 36	Formato de Control de Zonificación por colores.....	113
Tabla 37	Formato de Control de Capacitación con estándares 5S	113
Tabla 38	Ejemplo de formato de Control de Comité 5S por turno	113
Tabla 39	Ejemplo de formato de Control de Evaluaciones y reconocimientos mensuales	114
Tabla 40	Ejemplo de formato de Control de Inducción con enfoque en 5S	114
Tabla 41	Formato de Protocolo de perforación.....	116
Tabla 42	Formato de Protocolo de carga de explosivos	117
Tabla 43	Formato de Protocolo de voladura.....	117
Tabla 44	Formato de Protocolo de evacuación	117
Tabla 45	Formato Control de Señalética en Áreas Claves	118
Tabla 46	Formato Control de Codificación por Colores	119
Tabla 47	Formato Control de Tableros visuales	119
Tabla 48	Formato Control de Verificación general.....	120
Tabla 49	Formato Control de Pre – reunión	120
Tabla 50	Formato Control de Durante la reunión	121
Tabla 51	Formato Control de Post – reunión.....	121
Tabla 52	Formato Control de Indicadores de efectividad	121
Tabla 53	Planificación estratégica (Integración Kaizen – Hoshin Kanri)	122
Tabla 54	Matriz de Habilidades del Personal	123
Tabla 55	Indicadores de Seguimiento y Control.....	124
Tabla 56	Frecuencia y responsables de la evaluación	124
Tabla 57	Plan de monitoreo a 3, 6 y 12 meses.....	125
Tabla 58	Frecuencia y responsables de Cronograma de implementación – Optimización de voladuras con Lean Mining.....	125
Tabla 59	Requerimientos logísticos y humanos.....	125
Tabla 60	Estimación de Recursos Humanos, Materiales y Equipos	126
Tabla 61	Riesgos potenciales y medidas de mitigación	127
Tabla 62	Costo de mano de obra que interviene en el proceso de voladura	128
Tabla 63	Costo de explosivos y accesorios por disparo	129
Tabla 64	Costos de equipos, energía y mantenimiento por disparo	129

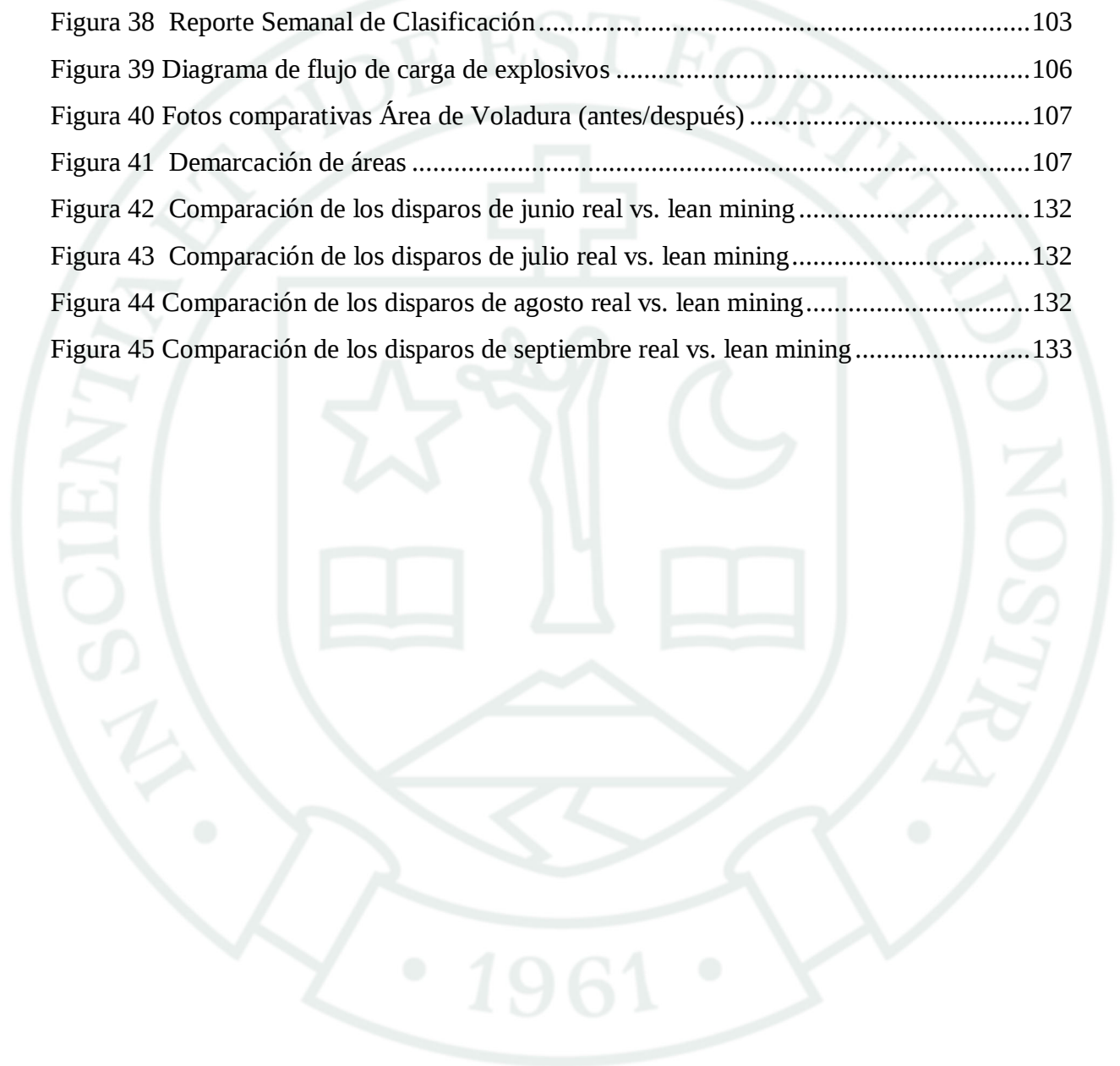
Tabla 65 Costos de soporte y gestión por disparo.....	129
Tabla 66 Costo total por disparo	130
Tabla 67 Ventas anuales de disparos programados.....	130
Tabla 68 Desglose de los costos directos e indirectos asociados a la propuesta de mejora ..	131
Tabla 69 Beneficio estimado con la aplicación de lean mining.....	133
Tabla 70 Variables y principales indicadores para la evaluación de la hipótesis	135
Tabla 71 Diagnóstico inicial del proceso antes de la aplicación de la propuesta	136
Tabla 72 Resultados de la propuesta basada en las herramientas Lean Mining	137
Tabla 73 Comparación con los resultados de investigaciones similares	138
Tabla 74 Criterios de Observación:	152
Tabla 75 Criterios de Observación:	154



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Árbol de problemas	6
Figura 2 Mapa de la unidad minera.....	39
Figura 3 Organigrama de la Compañía Minera en Estudio	42
Figura 4 Organigrama de la Unidad Minera Chungar.....	43
Figura 5 Mapa básico de procesos de la Unidad Minera Chungar.....	45
Figura 6 Mapa detallado de procesos de la Unidad Minera Chungar	46
Figura 7 Flujograma del proceso del proceso de voladura	52
Figura 8 Programación de 1 voladura.....	58
Figura 9 Flujograma del proceso de Perforación	61
Figura 10 Flujograma del proceso de Voladura	62
Figura 11 Flujograma del proceso de Limpieza y Carguío	63
Figura 12 Flujograma del proceso de Transporte.....	64
Figura 13 Flujograma del proceso de Sostenimiento	65
Figura 14 Matriz de Análisis FODA del proceso de voladura.....	68
Figura 15 Pareto de causas identificadas de los disparos no ejecutados (jun 24-set 24).....	70
Figura 16 Disparos ejecutados en el mes de junio	72
Figura 17 Disparos ejecutados en el mes de julio	74
Figura 18 Disparos ejecutados en el mes de agosto	78
Figura 19 Disparos ejecutados en el mes de septiembre	80
Figura 20 KPI's Avance – Factor Carga – Factor Potencia de AESA	81
Figura 21 KPI's Avance – Factor Carga – Factor Potencia de CIA Intermedia.....	82
Figura 22 KPI's Dilucion externa - Factor Potencia de CIA Taladros Largos.....	82
Figura 23 KPI's Dilucion externa - Factor Potencia de CIA Intermedia	83
Figura 24 KPI's Dilución externa - Factor Potencia de AESA.....	84
Figura 25 Promedio (junio, julio, agosto, septiembre) de metros, disparos, consumo de explosivos, eficiencia.....	84
Figura 26 Paradas de equipos (jumbo) de junio a septiembre	85
Figura 27 Mantenimiento de equipos (jumbo).....	85
Figura 28 Trabajo de Mantenimiento eléctrico-septiembre.....	86
Figura 29 Reporte de avance mensual de junio	87
Figura 30 Reporte de avance mensual de julio	87
Figura 31 Reporte de avance mensual de agosto	88

Figura 32 Reporte de avance mensual de septiembre	88
Figura 33 Eficiencia operativa de cada equipo (e.g., perforadoras, sistemas de carga).	89
Figura 34 Zona de almacén de voladura.....	95
Figura 35 Vía de ingreso y salida de la Zona de almacén	96
Figura 36 Elementos de almacén con el etiquetado correspondiente.....	98
Figura 37 Almacén de voladura etiquetado, limpio y ordenado	102
Figura 38 Reporte Semanal de Clasificación	103
Figura 39 Diagrama de flujo de carga de explosivos	106
Figura 40 Fotos comparativas Área de Voladura (antes/después)	107
Figura 41 Demarcación de áreas	107
Figura 42 Comparación de los disparos de junio real vs. lean mining.....	132
Figura 43 Comparación de los disparos de julio real vs. lean mining.....	132
Figura 44 Comparación de los disparos de agosto real vs. lean mining.....	132
Figura 45 Comparación de los disparos de septiembre real vs. lean mining.....	133



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Datos de la empresa.....	147
Anexo 2 Guía de observación	152
Anexo 3 Guía de análisis documental	154



INTRODUCCIÓN

La minería subterránea constituye una de las principales actividades económicas del Perú, aunque enfrenta diversos problemas de productividad asociados a ineficiencias operativas. El proceso de voladura, por su importancia en la fragmentación de la roca y el avance de labores, presenta fallas recurrentes que generan sobre costos, tiempos muertos y riesgos operativos.

Durante el diagnóstico se identificaron oportunidades de mejora que pueden ser abordadas mediante la aplicación de herramientas Lean Mining. Entre ellas destacan la optimización en el uso de explosivos, la reducción de reprocesos, la estandarización de actividades y la implementación de mantenimiento preventivo, lo que permitiría incrementar la eficiencia y sostenibilidad del proceso de voladura.

En el Capítulo I: Planteamiento operacional, se presenta la problemática central de la investigación, así como la justificación y los objetivos generales y específicos que orientan el desarrollo del estudio.

El Capítulo II: Marco Teórico, desarrolla el marco teórico, en el cual se abordan los fundamentos de la minería subterránea, el proceso de voladura, y las principales herramientas de gestión Lean Mining aplicables al contexto minero.

El Capítulo III: Planteamiento Metodológico, expone la metodología de investigación, señalando el enfoque, diseño, alcance y técnicas utilizadas para la recolección y análisis de la información.

En el Capítulo IV: Diagnóstico de la Situación Actual, se caracteriza el proceso actual de voladura, identificando deficiencias en la planificación, consumo de insumos y gestión del mantenimiento, lo que permitió determinar las principales causas raíz de los problemas detectados.

El Capítulo V: Propuesta de Mejora, plantea la propuesta de mejora, la cual integra herramientas Lean Mining como 5S, estandarización y Kaizen, acompañadas de formatos de control, protocolos y diagramas de proceso que buscan optimizar la ejecución de la voladura.

El Capítulo VI: Evaluación Económica de la Propuesta, desarrolla la evaluación económica de la propuesta, cuantificando los beneficios en términos de ahorro por voladura y beneficios adicionales, y calculando indicadores como la relación Beneficio/Costo y el periodo de recuperación de la inversión, que demuestran la viabilidad de la propuesta.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Descripción del Problema

La minería en el Perú continúa siendo crucial para la economía del país, ya que aporta de manera significativa a los ingresos del estado, mediante diferentes conceptos como lo son el canon y las regalías. De acuerdo a lo indicado por el Ministerio de Energía y Minas (2024) en su boletín estadístico mensual, el sector se encuentra en recuperación y expansión, teniendo dentro de sus datos relevantes, la generación de 234,483 empleos, además de un crecimiento interanual de inversión acumulado del 37.3%. Así mismo de estas operaciones, la minería subterránea representa cerca de un 47%. Este tipo de minería, es justamente la que desarrolla la empresa en estudio.

La empresa minera, es una de las principales productoras de zinc, plomo y plata a nivel mundial. Se destaca en la industria por ser uno de los productores con menores costos, gracias a la alta calidad de sus yacimientos minerales. La empresa comenzó sus actividades en 1943 y todas sus operaciones se encuentran en la Sierra Central del Perú.

El proceso de minado en una mina subterránea implica la extracción de minerales ubicados debajo de la superficie terrestre a través de túneles y galerías. Este tipo de minería es utilizado cuando los depósitos de mineral se encuentran a una profundidad considerable o cuando la minería a cielo abierto no es viable por razones económicas o ambientales. El proceso comienza con el desarrollo de accesos, como rampas, chimeneas o pozos, que permiten la entrada de personal, maquinaria y equipos a las zonas.

La voladura es un proceso clave que permite la fragmentación controlada del material rocoso para su posterior extracción. Sin embargo, si estas no se ejecutan de una manera correcta pueden generar serios problemas en la eficiencia operativa, la seguridad y los costos de producción. La mina en cuestión tiene 2 zonas para minar, Zona Intermedia y Zona Profunda, en Zona Intermedia las labores se dividen entre la Compañía y una empresa tercerizada, mientras la Zona Profunda es ejecutada por Compañía.

El problema principal identificado en el proceso de voladura corresponde a los incumplimientos recurrentes de la programación de trabajos y elevados tiempos improductivos, debido a la ausencia de estandarización operativa, deficiente gestión del mantenimiento, falta

de control visual y limitada coordinación inter-áreas, lo que genera sobrecostos por disparo, desperdicio de explosivos y pérdida de continuidad en el ciclo productivo.

Dentro de las principales causas del problema descrito anteriormente, se considera:

- **C1. Desorden operativo y ausencia de control visual en zonas críticas del proceso de voladura.**

Se evidenció la falta de señalización, demarcación y etiquetado estandarizado de áreas, así como la presencia de materiales vencidos o innecesarios, lo que incrementó los riesgos operativos y generó reprocesos por mala ubicación de materiales. Esta situación ocasionó tiempos muertos por búsqueda de insumos y herramientas, acumulando en promedio 2.0 horas por turno en el almacén y 1.0 hora adicional en transporte, lo que contribuyó significativamente a la acumulación de horas improductivas. Asimismo, la ausencia de checklists de verificación operativa y de control visual favoreció la acumulación de horas muertas en zonas críticas, incrementando los tiempos de espera entre actividades y reduciendo la fluidez del ciclo de voladura.

- **C2. Gestión operativa no estandarizada del proceso de voladura**

Se caracteriza por la ausencia de procedimientos estandarizados de perforación, carga y disparo, así como por el uso inconsistente de formatos y registros operativos. Esta deficiencia generó una alta variabilidad en la ejecución entre turnos y personal, afectando la continuidad del proceso y la confiabilidad de los resultados operativos. Como consecuencia, se registraron errores en el cálculo de explosivos, cambios de destino no planificados y deficiente reporte de turno, lo que derivó en sobreconsumo y desperdicio de explosivos, incrementando el costo por disparo, que en el escenario base alcanzó S/. 5,036.00 por voladura. Esta variabilidad también impactó en el cumplimiento del tonelaje objetivo, generando inconsistencias en los resultados operativos y menor previsibilidad en la planificación minera de corto plazo.

- **C3. Gestión ineficiente del mantenimiento y deficiente coordinación del proceso**

Evidenciada por el predominio del mantenimiento correctivo en los equipos jumbo y la baja coordinación entre las áreas de planeamiento, geomecánica y operaciones. Entre junio y septiembre de 2024 se registraron 1,020 horas improductivas acumuladas asociadas a paradas no planificadas de equipos, lo que equivale a un promedio superior a 250 horas mensuales de inactividad no programada. Adicionalmente, se identificaron retrasos recurrentes por autorizaciones, limpieza y documentación, debido a la falta de seguimiento

mediante indicadores de desempeño, lo que incrementó los tiempos de espera entre actividades y el gasto en mantenimiento correctivo, afectando directamente el costo total del proceso de voladura.

Así mismo, se identificaron efectos directos de la problemática en estudio, los cuales son:

- **E1. Elevados tiempos improductivos en el proceso de voladura**

Estas horas muertas se originaron principalmente por interrupciones recurrentes del ciclo de minado, paradas no programadas por limpieza de vías, tiempos muertos por búsqueda de insumos y herramientas debido al desorden, y aumento de los tiempos de espera entre actividades consecutivas del proceso. Asimismo, estos tiempos improductivos incrementaron el riesgo de retrasos acumulados en la producción, ya que las actividades posteriores a la voladura (limpieza, carguío y transporte) dependían directamente de la ejecución oportuna de los disparos programados. La acumulación de horas muertas provocó una mayor variabilidad en los resultados operativos, evidenciada en diferencias significativas en los avances mensuales y en la eficiencia entre equipos y turnos. Esta situación redujo la confiabilidad de la planificación de corto plazo, generando menor previsibilidad en la planificación minera, lo que obligó a realizar reprogramaciones constantes y ajustes reactivos que incrementaron la incertidumbre operativa.

- **E2: Incremento del costo total por ejecución de voladura**

La falta de estandarización y los errores operativos generaron sobreconsumo y desperdicio de explosivos, afectando directamente el costo unitario por disparo. En el escenario base analizado, el costo por disparo alcanzó S/. 5,036.00, valor que incluye penalizaciones por disparos no ejecutados, reprocesos, tiempos muertos del personal por falta de conocimiento de los procedimientos, así como gastos adicionales asociados a coordinaciones ineficientes. Adicionalmente, la ejecución irregular de las voladuras contribuyó al incumplimiento del tonelaje objetivo, afectando el cumplimiento de las metas de producción y generando pérdidas económicas recurrentes asociadas a la menor extracción efectiva de mineral.

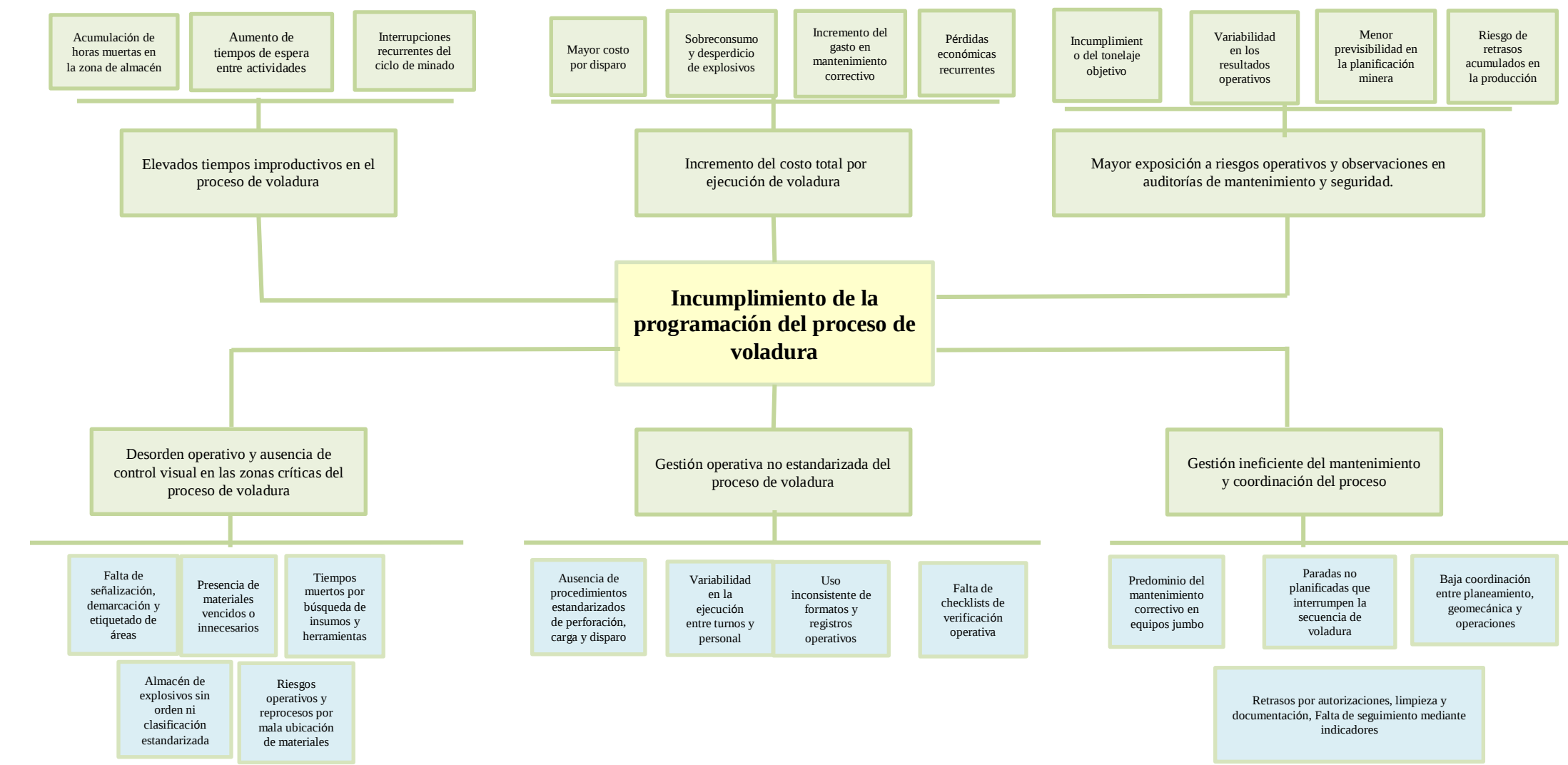
Asimismo, la inexistencia de checklists de verificación operativa y de indicadores de seguimiento dificultó la detección temprana de desviaciones, aumentando la probabilidad de reprocesos, errores humanos y observaciones durante auditorías internas y externas. Estos riesgos no solo comprometen la seguridad del personal, sino que también generan impactos económicos indirectos por paradas correctivas, reprocesos y posibles sanciones.

- **E3: Mayor exposición a riesgos operativos y observaciones en auditorías de mantenimiento y seguridad.**

Se generó un riesgo de retrasos acumulados en la producción, reflejado en el incumplimiento del tonelaje objetivo, la variabilidad de los resultados operativos y la menor previsibilidad en la planificación minera, comprometiendo la sostenibilidad y estabilidad del proceso productivo.

De manera complementaria, el incremento del costo total por voladura se vio reforzado por el aumento del gasto en mantenimiento correctivo, producto del predominio de intervenciones reactivas en los equipos jumbo. Las paradas no planificadas, registradas de forma recurrente durante el periodo de estudio, incrementaron los costos directos de mantenimiento, así como los costos indirectos asociados a la indisponibilidad de equipos, horas hombre improductivas y retrasos en la secuencia operativa. Esta situación impactó negativamente en la rentabilidad del proceso y redujo la capacidad de la operación para mantener costos estables y controlados.

Figura 1
Árbol de problemas



Nota. Elaboración propia

1.1.2. Formulación del Problema

¿De qué manera la aplicación de herramientas Lean Mining permite reducir el incumplimiento de la programación del proceso de voladura en la extracción de mineral de una empresa dedicada a la minería subterránea?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Cuál es el estado actual de cumplimiento de la programación del proceso de voladura en la unidad minera subterránea?
- ¿Cuáles son las causas operativas que impiden el cumplimiento de la programación de los trabajos de voladura?
- ¿Qué herramientas de Lean Mining permiten abordar las causas operativas que originan el incumplimiento de la programación del proceso de voladura
- ¿Qué acciones de mejora basadas en herramientas Lean Mining permiten estandarizar la gestión del proceso de voladura y reducir la variabilidad operativa?
- ¿La propuesta planteada en base a las herramientas de Lean Mining será viable a un nivel económico?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General

Aplicar herramientas Lean Mining para reducir el incumplimiento de la programación del proceso de voladura en la extracción de mineral de una empresa dedicada a la minería subterránea.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el estado actual de cumplimiento de la programación del proceso de voladura en la unidad minera subterránea.
- Identificar las causas operativas que impiden el cumplimiento de la programación de los trabajos de voladura.
- Seleccionar las herramientas de Lean Mining que permitan abordar las causas operativas que originan el incumplimiento de la programación del proceso de voladura.

- Proponer acciones de mejora basadas en herramientas Lean Mining que permitan estandarizar la gestión del proceso de voladura y reducir la variabilidad operativa.
- Evaluar la viabilidad económica de la propuesta planteada.

1.3. Justificación del estudio

1.3.1. Justificación Práctica

La aplicación de herramientas Lean Mining en el proceso de voladura tiene un impacto directo en la productividad y la seguridad. El diagnóstico inicial evidenció incumplimientos de hasta un 54% en la ejecución de voladuras y 1020 horas muertas acumuladas en cuatro meses en los equipos jumbo. La implementación de 5S y la estandarización de protocolos permite eliminar materiales vencidos, reducir tiempos muertos y ordenar los flujos de trabajo, lo que se traduce en mayor confiabilidad operativa. Asimismo, la mejora en la fragmentación de la roca y en la planificación de cargas explosivas reduce la necesidad de retrabajos, minimiza riesgos de accidentes y garantiza la continuidad de operaciones críticas

1.3.2. Justificación Económica

El análisis económico realizado evidencia que la propuesta de mejora basada en herramientas Lean Mining es financieramente viable y rentable, al demostrar que la reducción del incumplimiento de la programación del proceso de voladura genera beneficios económicos directos para la empresa. La evaluación determinó un beneficio anual estimado de S/.11,835,710.34.

Estos resultados confirman que la aplicación de herramientas Lean Mining permite disminuir costos operativos asociados al sobreconsumo de explosivos, paradas no planificadas y mantenimientos correctivos, los cuales fueron identificados como causas críticas del incumplimiento de la programación de voladuras. Asimismo, la mejora en la disponibilidad y eficiencia de los equipos críticos impacta positivamente en la continuidad del ciclo productivo, reduciendo tiempos improductivos y evitando pérdidas económicas recurrentes.

En consecuencia, la inversión en la implementación de Lean Mining se justifica económicamente, ya que por cada sol invertido se obtiene un retorno de 1.36 soles, garantizando la sostenibilidad financiera de la propuesta en el corto plazo y aportando valor económico tangible a la gestión del proceso de voladura.

1.3.3. Justificación Metodológica

La elección de la metodología Lean Mining se justifica metodológicamente debido a su capacidad para intervenir de manera directa y estructurada en las causas operativas que originan el incumplimiento de la programación del proceso de voladura, tales como la falta de estandarización, el predominio del mantenimiento correctivo, el desorden operativo y las deficiencias de coordinación inter-áreas, identificadas en el diagnóstico de la situación actual.

El uso del ciclo PHVA (Planificar–Hacer–Verificar–Actuar) permitió organizar la propuesta de mejora como un proceso sistemático y controlable, asegurando la planificación de acciones, su correcta ejecución, la verificación mediante indicadores y la aplicación de acciones correctivas orientadas a la mejora continua. Asimismo, la aplicación de herramientas como 5S, análisis de causa raíz, estandarización de procedimientos, gestión visual y Kaizen facilitó la reducción de la variabilidad operativa y la generación de condiciones estables para la ejecución del proceso de voladura.

1.3.4. Justificación Profesional y/o personal

La presente investigación beneficia a la autora ya que le permitira adquirir nuevos conocimientos en tendencias industriales que ayuden a ver los procesos de diferentes puntos de vista y a gestionar proyectos de optimización de forma más efectiva, asegurando que se cumplan los objetivos de tiempo, costo y calidad. Esto permite adquirir una mayor autonomía en la toma de decisiones y en la implementación de cambios. Asi mismo en consecuencia del desarrollo de esta tesis se obtuvo el título profesional de Ingeniería Industrial.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Delimitación temática

La presente investigación está dentro del campo de las ciencias e ingenierías físicas y formales, específicamente en el área de Ingeniería Industrial. Tiene como fin la optimización del proceso de voladura en base a herramientas de Lean Mining dentro de una empresa dedicada a la Minería Subterránea, adicional a ello se debe tener en cuenta que el nombre de la organización se mantuvo en anonimato por un tema de confidencialidad, esta investigación solo tiene un alcance de propuesta sin llegar a la implementación.

1.4.2. Delimitación espacial

La unidad minera en estudio desarrolla sus actividades en la Sierra Central de Perú por lo que tiene diversos centros de operaciones, la información se extraerá del centro de operaciones ubicado en Pasco.

1.4.3. Delimitación temporal

El tiempo planteado para el desarrollo de la investigación será aproximadamente de 4 meses entre el año 2024 y 2025. En cuanto la información presentada esta agrupara datos de 4 meses, desde junio del 2024 a septiembre del 2024.

1.5. Hipótesis

La aplicación de herramientas Lean Mining permite reducir el incumplimiento de la programación del proceso de voladura en la extracción de mineral de una empresa dedicada a la minería subterránea.

1.6. Operacionalización de Variables

Tabla 1

Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicador
Variable Independiente: Lean Mining	Es esencialmente un proceso de transformación, metódico y ordenado, encaminado a la creación de valor añadido a través de la eliminación de desperdicio o despilfarros (García, 2021). El objetivo es reducir las limitaciones derivadas de procesos aislados mediante la integración de datos y procesos, asegurando una mayor excelencia operativa con menos errores y mayor eficiencia. Esto incluye la automatización de procesos de negocio repetitivos, proporcionando visibilidad de las transacciones clave casi en tiempo real.	Gestión del Orden y la Limpieza (5S)	% de cumplimiento del checklist 5S
		Estandarización de Procesos	Nº de protocolos implementados % de cumplimiento de estándares de voladura
		Gestión Visual y Control Operacional	Nº de tableros de control implementados Frecuencia de auditorías internas
		Mejora Continua (Kaizen/PHVA)	Nº de acciones correctivas ejecutadas Nº de reuniones de retroalimentación realizadas
Variable Dependiente: Programación de Proceso de Voladura	Es una técnica aplicable a la extracción de roca en terrenos competentes, donde los medios mecánicos no son aplicables de una manera rentable. Se basa en la ejecución de perforaciones en la roca, donde posteriormente se colocarán explosivos que, mediante su detonación, transmite la energía necesaria para la fragmentación del macizo rocoso a explotar. Una buena voladura será aquella que cumple con el objetivo para que el que fue diseñada (Bernaola et al., 2013).	Cumplimiento de voladuras programadas	Nº de voladuras ejecutadas / Nº voladuras programadas
		Reducción de horas improductivas	Horas muertas en equipos jumbo antes vs. después % de reducción de tiempos improductivos
		Costo por disparo	Ahorro económico por disparo

Nota. Detalles de las variables, dependiente e independiente. Elaboración propia.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Quiroz (2016) “Implementación de metodología Lean en minería subterránea – estudio de caso esmeralda” Universidad de Chile, Santiago de Chile – Chile.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la implementación de la metodología *Lean* en uno de los sectores productivos de la Gerencia de Minas de la División El teniente, específicamente en la mina Esmeralda, con el propósito de mejorar la productividad, reducir costos operativos y cumplir con las metas establecidas en el plan minero mediante la gestión y seguimiento de indicadores clave de rendimiento (KPI).

La investigación utilizó la metodología Lean para optimizar procesos en la mina Esmeralda. Esta metodología se basa en la eliminación continua de desperdicios y la creación de valor mediante la mejora de la eficiencia en los procesos productivos. La aplicación del enfoque Lean involucró la evaluación y rediseño de procesos productivos en la mina, la implementación de un sistema de gestión basado en la medición de KPI, el seguimiento riguroso de la utilización de activos y recursos, la involucramiento y compromiso de toda la línea de mando y liderazgo, para garantizar la adherencia a los cambios implementados.

En los resultados obtenidos se incrementó en la utilización de activos, ya que la metodología, lean permitió una mayor eficiencia en el uso de los activos de la mina, optimizando los recursos disponibles, la reducción de costos operativos, donde la aplicación de Lean resultó en una disminución significativa de los costos operativos, mejorando la rentabilidad de las operaciones, el cumplimiento de metas de producción, donde la gestión basada en indicadores clave (KPI) permitió alcanzar las metas del plan minero de manera más eficiente y efectiva y finalmente la automatización de información, donde se logró la generación automática de indicadores clave del proceso de extracción, sin la intervención de personal operativo, lo que redujo la interferencia humana y mejoró la precisión de la información.

Esta investigación es importante porque demuestra cómo la metodología Lean puede ser adaptada y aplicada con éxito en la industria minera, un sector que enfrenta desafíos complejos relacionados con la geomecánica de los yacimientos, la volatilidad de los precios de los commodities y la necesidad de asegurar la sostenibilidad a largo plazo. La implementación de

Lean en la mina Esmeralda no solo mejoró la eficiencia operativa y la utilización de activos, sino que también creó una cultura organizacional orientada al desempeño continuo.

Este estudio aporta una nueva estructura y lógica operativa basada en la mejora continua y la gestión disciplinada de indicadores de rendimiento, sirviendo como un modelo que otras minas pueden adoptar para mejorar su productividad y competitividad en un mercado global altamente volátil.

Four Principles (2018) *“Lean Mining: bringing sustainable efficiencies to the Mining Industry”* Four Principles An Abdul Latif Jameel Company, Dubai – UEA.

El objetivo principal de esta investigación fue la transformación de Tüprag, la subsidiaria turca de Eldorado Gold, fue implementar un enfoque de mejora continua basado en los principios de Lean para lograr una mayor rentabilidad y sostenibilidad en sus operaciones mineras. Esto fue impulsado por la necesidad de controlar costos de manera precisa y disciplinada, en un entorno donde las fluctuaciones del precio del oro afectaban significativamente las inversiones y los presupuestos mineros.

La metodología utilizada fue la implementación de los principios de Lean Six Sigma, que se centra en la eliminación de la variación y el desperdicio en todas las etapas de producción. Esto incluyó un análisis riguroso de los procesos productivos para identificar áreas ineficientes, proyectos piloto diseñados para poner en práctica la filosofía de mejora continua y control de costos, un enfoque disciplinado en el control de costos, con la intención de reducir riesgos y mejorar la seguridad.

Después de seis meses de implementación de los proyectos piloto basados en los principios Lean, Tüprag comenzó a ver resultados positivos como mejoras en el rendimiento de la producción, reducción de riesgos de seguridad y mayor control de costos y eficiencia operativa, lo que permitió a la empresa enfrentar de manera más sólida las fluctuaciones en el precio del oro.

Los cambios permitieron que la mina obtuviera un ciclo de mineral adicional por día y una reducción de costos del 5 % por metro excavado, la tasa de mantenimiento planificada aumentó y se resolvió un atraso de 850 fallas en tres meses. Igualmente, importante, la recuperación promedio de oro en OEE para la planta aumentó un 1% hasta alcanzar el 94%. Por último, las mejoras en los procesos de mantenimiento de equipos significaron que la empresa compró menos unidades de costosos equipos adicionales.

Este enfoque permitió que Tüprag no solo mejorara su productividad, sino que también fortaleciera su capacidad para operar de manera rentable en un entorno minero económicamente desafiante

Fortuny (2021) “Lean Methodologies and Productivity in Mining Development – A Case in a Public Company” Universidad Politécnica de Madrid, Madrid - España

El objetivo de esta investigación fue explorar, a través de una revisión sistemática de la literatura, la aplicación de *lean manufacturing* en empresas mineras. Dado que la industria minera es clave como proveedora de materias primas, es crucial asegurar su viabilidad. El estudio se centró en analizar la aplicabilidad del *lean management* (LM) en el sector minero, con un enfoque en los impulsores del cambio y las barreras que enfrentan las empresas al implementarlo.

La metodología consistió en una revisión sistemática de la literatura y un análisis bibliométrico que examinó estudios publicados sobre la implementación de *lean management* en la minería. Los documentos más antiguos datan de 1989, y el número de trabajos ha crecido notablemente en los últimos años. La revisión abarcó empresas mineras de diferentes países, tipos de minerales y tamaños, incluyendo tanto minas subterráneas como a cielo abierto. Se recopilaron los impulsores, facilitadores, barreras, liderazgo y resultados de la implementación de LM, destacando los casos empíricos más relevantes en la industria dando como resultado que las empresas mineras que implementaron herramientas *lean* (como 5S, VSM, y trabajo en equipo) reportaron mejoras en la productividad, eficiencia y ambiente de trabajo, aumento en la producción y reducción de costos, con ejemplos como el caso de una empresa brasileña donde el volumen extraído mensualmente creció un 43.6%, mientras que el costo por tonelada disminuyó un 32.9%, mejora en la eficiencia energética, disponibilidad de maquinaria, retención de personal, condiciones de seguridad e higiene (como menor exposición al polvo), y mejor calidad medioambiental, optimización en la disponibilidad de información, reducción de inventarios y creación de procedimientos de trabajo estandarizados y ahorro de costos derivado de la participación activa de empleados y empresas subcontratadas, lo que contribuyó a mejorar los procesos de gestión.

Esta investigación contribuye significativamente al entendimiento de cómo el *lean management* puede aplicarse de manera efectiva en la industria minera, un sector estratégico y diverso en términos de procesos. Proporciona una visión clara de los beneficios operativos y organizacionales, como el incremento de la productividad, la reducción de costos y el aumento de la seguridad. Además, destaca las barreras comunes en la implementación de LM en la

minería y subraya la importancia del liderazgo y el apoyo de consultores externos en el éxito de la transformación. Para los profesionales, LM se presenta como una herramienta válida para mejorar la eficiencia operativa y la gestión de la planta, mientras que, para los académicos, el estudio señala la necesidad de realizar más investigaciones empíricas para comprender mejor su impacto en el sector minero.

Tasayco (2023), “Aplicación de Lean Mining para mejorar la productividad del proceso de explotación en minería subterránea”. Universidad Ricardo Palma, Lima -Perú.

El objetivo principal de esta tesis es implementar herramientas de Lean en el proceso de extracción de carbón mineral, con el fin de incrementar la productividad y eficiencia operativa de la empresa. El enfoque también busca estandarizar y documentar los procesos, para asegurar su sostenibilidad en el tiempo y la adopción de mejores prácticas por parte del personal.

La metodología empleada fue la implementación de herramientas Lean como las 5S, SMED (Single Minute Exchange of Die) y el trabajo estandarizado en el proceso de extracción de carbón mineral. Estas herramientas se aplicaron en tres áreas clave, como la ventilación de galerías, la entrega de herramientas y el sostenimiento de labores.

Además, se enfocó en documentar correctamente los procesos para asegurar la continuidad de las mejoras implementadas y ofrecer un punto de referencia para futuras optimizaciones, donde se incrementó la capacidad del proceso de extracción de carbón mineral en un 58%, aumento de la productividad en un 42%, hubo una reducción de tiempos que no agregaban valor al proceso, mejorando la eficiencia, documentación adecuada de los procesos mediante el trabajo estandarizado, lo que deja un punto de partida claro para futuras mejoras y resolución parcial de la pérdida de productividad, que a fines de 2019 había causado una reducción del 19% en la facturación, al mejorar la eficiencia (de 80%) y la capacidad (de 70.14%).

Esta investigación es importante porque aborda una problemática clave en la industria minera: la pérdida de productividad y la falta de estandarización de los procesos. Al implementar *Lean Mining*, se lograron mejoras significativas en la eficiencia y capacidad del proceso de extracción de carbón. La correcta documentación y estandarización de procesos garantiza la continuidad de estas mejoras, contribuyendo a la sostenibilidad a largo plazo.

El estudio aporta un marco para que otras empresas mineras optimicen sus operaciones, reduciendo tiempos improductivos y mejorando la adopción de mejores prácticas, todo ello bajo el enfoque de mejora continua que promueve Lean Mining.

Altamirano (2023), “Herramientas Lean Mining para incrementar la productividad de la explotación de mineral de la constructora Frelmar S. A. C. Huamachuco 2023”. Universidad Privada del Norte, Trujillo – Perú.

La presente investigación se centró en aumentar la eficiencia en la extracción de minerales, con un enfoque en mejorar los resultados productivos mediante la implementación de metodologías Lean Mining. Para abordar este problema, se implementaron las 5S en el área de producción minera, estableciendo un Comité de Mejora Continua (CMC) que incluyó a gerentes, jefes y supervisores. Las acciones para llevar a cabo las 5S se realizaron de manera metódica, con registro documental como prueba del proceso de transformación en el comportamiento del personal. Durante el análisis diagnóstico, se identificó que la producción real alcanzó 551 toneladas, por debajo de las 600 toneladas proyectadas, lo que representó un incumplimiento del 8% y una pérdida financiera de S/12,005 en el primer mes. En promedio, el déficit en facturación fue de S/27,338 mensuales, reflejando una eficiencia del 81%.

El estudio concluyó que la aplicación de herramientas Lean Mining incrementó significativamente la productividad, permitiendo cumplir con los planes de producción y mejorando la continuidad del proceso hacia las etapas posteriores, como el chancado del mineral.

La investigación demuestra cómo las herramientas Lean Mining pueden incrementar la eficiencia en operaciones mineras, incrementar la productividad del proceso de extracción, mejorar la rentabilidad, lo que es directamente relevante para la optimización de cualquier proceso dentro de la mina, incluyendo la voladura.

Cahuata (2021), “*Optimización de la voladura con el uso de emulsión bombeable en minería subterránea y tunelería*”. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas. Lima – Perú.

En la investigación el objetivo principal fue la optimización generada por la implementación de la emulsión bombeable en minería subterránea y tunelería; teniendo como base científica los estudios técnicos, que certifican los beneficios económicos, ambientales y operacionales, generados por este agente explosivo en las unidades mineras. Como alternativas se plantearon el uso de: Superfamos, Emulgran Qhana y Emulfrag como explosivos bases para generar un mayor avance a un menor costo; mientras que para controlar el exceso de sobre rotura en los contornos de la labor, se implementó en primera instancia el uso del Famecorte E-20. El ahorro obtenido tras pasar de la línea base Emulnor a la emulsión bombeable Emulfrag fue de: 26.9

US\$/m para roca suave, 26.9 US\$/m para roca media y 26.9 US\$/m para roca dura. En lo que respecta al daño inducido al macizo rocoso, el efecto deflagrante del Emulfrag a una densidad de 0.8 g/cm³ se logró disminuir favorablemente las zonas de intenso fracturamiento y creación de nuevas fracturas, se logró la reducción en un 55.3% del monóxido de carbono, 68.7 % del monóxido de nitrógeno y 71.7% del dióxido de nitrógeno, además de sumarse el aporte de la no combustión excesiva de plástico, gracias a que la emulsión bombeable no utiliza este componente, bajando así los niveles de concentración de gas metano y óxido de etileno. Esta investigación resulta ser importante porque detalla una alternativa para la mejora del proceso de voladura en una empresa minera, proceso que es el que se estudia en la presente investigación.

Gonzales (2021), “Diseño de las herramientas Lean Mining para incrementar la productividad de la empresa minera W&J minería y construcción S.A.C, Cajamarca, 2021” Universidad Privada del Norte, Cajamarca – Perú.

El objetivo de la investigación fue diseñar herramientas de Lean Mining para incrementar la productividad de la empresa W&J Minería y Construcción, ubicada en Cajamarca, durante el año 2021.

La investigación siguió un enfoque cuantitativo, tal como lo describen Hernández, Fernández y Baptista (2014), que se refiere al uso de métodos y procedimientos de medición. Se realizaron mediciones específicas para determinar la productividad de la mina. El estudio es de tipo correlacional, con un diseño cuasiexperimental y de carácter transversal. El proyecto se llevó a cabo en la concesión minera no metálica Colquirrumi N°49-B, ubicada en el distrito de Bambamarca y el caserío de Apán.

La metodología aplicada para la implementación de *Lean Mining* incluyó el uso de la metodología 5S en la zona de trabajo, la realización de eventos *Kaizen* y la creación de un plan de mantenimiento preventivo.

Donde se obtuvo que la producción actual de la mina era de 15,600 TM/año de óxido de calcio (CaO), con un incremento proyectado del 15% que equivaldría a 17,940 TM/año, la eficiencia mejorada fue del 0.98, y la eficacia alcanzada del 0.99, los movimientos innecesarios con la mano izquierda se redujeron a 121 minutos, y con la mano derecha a 155 minutos y el sobre procesamiento se redujo en un 31%.

La presente información aporta un enfoque práctico para mejorar la productividad en una empresa minera a través de la implementación de herramientas de *Lean Mining*. Los resultados

muestran cómo la adopción de metodologías como 5S, eventos *Kaizen* y un plan de mantenimiento preventivo pueden optimizar la eficiencia, reducir tiempos innecesarios y minimizar el sobreprocesamiento. Además, la investigación proporciona un modelo que puede ser replicado en otras empresas mineras con características similares, enfrentando desafíos como la alta rotación de personal, subcontratación de equipos y limitaciones financieras.

2.2. Marco teórico conceptual

2.2.1. La Filosofía Lean

2.2.1.1. Concepto y Principios

Las organizaciones empresariales, señala Paniagua (2024) deben enfocarse en cumplir sus objetivos de manera técnica y económica, utilizando sistemas de gestión apropiados y respaldándose en estructuras organizativas y tecnología; aunque una producción pueda ser técnicamente adecuada, no será efectiva si los costos son altos o si la motivación de los empleados es insuficiente; a pesar de las contribuciones de Taylor, Ford y Mayo al ámbito empresarial, el cambio significativo ocurrió con el Sistema de Producción de Toyota (TPS), que se centra en procesos de calidad, uso óptimo de recursos, flexibilidad y respeto hacia los trabajadores; este modelo persigue la excelencia al poner énfasis en el valor que se proporciona al cliente y en la generación de flujos de valor.

Además, el autor, presenta los siguientes principios:

- Define el valor desde el punto de vista del cliente: Comprender qué significa valor para el cliente, que se relaciona con las funcionalidades, calidad, costo y tiempo esperados. La creación de valor implica realizar el trabajo correcto y considerar tanto los procesos como las personas.
- Identifica tu corriente de valor: Reconocer las actividades de valor en la cadena de valor, que consiste en una secuencia de actividades necesarias para producir un producto o servicio. El mapeo de la corriente de valor (VSM) es una herramienta útil para esta identificación.
- Crear flujo: Establecer un flujo continuo en la cadena de valor, coordinando bien la comunicación entre departamentos y con proveedores para operar de manera conjunta. Esto también implica que el outsourcing debe alinearse con el flujo de valor interno y externo.

- Producir según un sistema pull: La producción debe responder a la demanda real del cliente (pull) en lugar de seguir previsiones (push). Esto significa que los productos solo se fabrican cuando hay un pedido, y se requiere una adecuada capacidad de producción y un tiempo de proceso inferior al plazo de entrega.
- Persigue la perfección mediante la mejora continua (Kaizen): Integrar la mejora continua con los objetivos estratégicos de la empresa, priorizando acciones que impacten en indicadores clave y zonas de actuación con mayor potencial de mejora. Involucrar a todos los niveles de la organización en este proceso y enfocarse en pequeñas mejoras incrementales.

2.2.1.2. Metodología Lean

Paniagua (2024) afirma que la metodología Lean se basa en los anteriores principios y en el ciclo de mejora continua, conocido como círculo de Deming, de este modo la metodología Lean requiere un cambio estratégico en la forma en que las empresas gestionan sus procesos para hacerlos más ágiles; los pasos principales son:

- Análisis de procesos: Evaluar a nivel estratégico, consiste en identificar los recursos necesarios a largo plazo para cumplir con los objetivos de competitividad requeridos. A nivel táctico, responde a un proceso metodológico que persigue comparar las distintas alternativas hasta seleccionar la más adecuada. El horizonte de previsión en este caso es a medio y corto plazo y a nivel operativo se basa en la utilización eficiente de los recursos, por ello, requiere un estudio detallado de todas las operaciones que se llevan a cabo en el día a día (en términos de semanas, días y horas empleadas). Es fundamental llevar a cabo este análisis para entender el punto de partida de cada departamento, sus procesos y detectar las mejoras que deben aplicarse.
- Planificación: Definir los objetivos que quieres alcanzar: concretos, ambiciosos pero conseguibles y medibles. Los recursos necesarios incluyen tanto materiales como personal, ya sean internos o externos. Además, se deben establecer plazos e hitos a cumplir en línea con los objetivos estratégicos o táctico-operativos.
- Involucrar a todos: Incorporar a empleados, clientes y proveedores para identificar mejoras.
- Comenzar por lo sencillo: Implementar mejoras gradualmente en las siguientes fases: incipiente (primeras pruebas para analizar resultados), de evolución (se establecen

procedimientos y relaciones), de madurez (funcionan las soluciones propuestas) y de integración (sus sistemas funcionan dentro ya de dicha metodología interna y externamente).

- Seguimiento: Monitorear continuamente para asegurar el éxito de las mejoras.

2.2.1.3. *Pilares de Lean*

Como señala Paniagua (2024) la implementación de la filosofía Lean se basa en una serie de conceptos, técnicas y herramientas que tienen como finalidad alcanzar diversos objetivos, tales como la rentabilidad, competitividad y satisfacción tanto de clientes como de empleados. Anteriormente se han presentado estos conceptos, y a continuación se detallarán las principales técnicas y herramientas que permiten aplicarlos; los pilares fundamentales de Lean están asociados a cinco aspectos clave que son recurrentes y esenciales para su desarrollo, a continuación, se detalla cada uno:

Valor: En la metodología Lean, el concepto de valor se centra en optimizar el valor agregado para el cliente, ya sea externo, interno o final. El valor se crea al mejorar el producto en cada fase del proceso y se reconoce en aquellas acciones por las que el cliente está dispuesto a pagar. El propósito es eliminar cualquier actividad que no aporte valor, es decir, los desperdicios que incrementan los costos. Los principios fundamentales abarcan hacer el trabajo de manera correcta, identificar el valor para todas las partes interesadas y generar valor desde una visión holística del proceso y la empresa. Identificar dependencias entre las distintas fases del proceso para incrementar el valor. Las personas, y no únicamente los procesos, crean valor.

En la filosofía Lean, de acuerdo con Paniagua, existen siete tipos de desperdicios que se deben evitar en todas las actividades:

- Transporte y almacenaje: Tiempo empleado en mover y almacenar materiales o productos en cualquier etapa.
- Inventarios: Exceso de materia prima, productos en proceso o productos terminados acumulados.
- Movimientos: Acciones innecesarias que no aportan valor directo a la operación.
- Tiempos de espera: Recursos inactivos esperando para realizar una tarea.
- Sobreproducción: Fabricar productos antes de que sean necesarios.
- Procesos innecesarios: Actividades ineficientes que resultan en tareas sin valor añadido.

- Defectos y retrabajos: Uso o generación de productos que no cumplen con los estándares requeridos.

El autor explica que, aunque no siempre es posible eliminar completamente estos procesos sin valor, a veces son necesarios para el buen funcionamiento de la empresa.

Just in time (JIT) es una filosofía industrial enfocada en reducir el desperdicio a lo largo del proceso productivo, desde la adquisición de materias primas hasta la entrega del producto final. Es uno de los principios clave dentro de la metodología Lean. Aunque existen diversas formas de minimizar el desperdicio, el JIT se centra en controlar físicamente los materiales para identificar y eliminar los excedentes. Su concepto esencial es producir solo lo necesario, en el momento exacto y en las cantidades requeridas, ya sea para la venta o para el siguiente paso en la cadena de producción; el Just in Time (JIT) se caracteriza por varios elementos clave:

- Igualar oferta y demanda: Producir lo que el cliente requiere, cuando lo necesita, reduciendo tiempos de entrega, cambios y esperas.
- Eliminar desperdicio: Detectar y eliminar desperdicios en las estaciones de trabajo.
- Producción continua: Solo fabricar lo necesario en la cantidad y momento requeridos, minimizando inventarios y acortando tiempos de entrega.
- Mejora continua: Perseguir mejoras constantes de manera metódica para cumplir los objetivos.
- Valor del ser humano: Los trabajadores son esenciales para tomar decisiones que permitan cumplir los objetivos de la empresa.
- Evitar sobreproducción: Eliminar la producción innecesaria, apoyándose en herramientas como calidad total, TPM, SMED, entre otras.
- Metas a corto plazo: Reevaluar sistemas de medición y planificación con un enfoque de corto plazo bajo la filosofía JIT.

Del mismo modo Paniagua refiere que la implicación del personal en las actividades y la calidad es esencial en la filosofía Lean; algunos aspectos clave son:

- GAP y soporte: La organización de la producción en grupos autónomos (GAP) y una adecuada jerarquización en la toma de decisiones son fundamentales para el éxito y sostenibilidad del sistema.

- Gestión visual y SQCDP: Elegir indicadores de control sobre seguridad (S), calidad (Q), costes ©, entregas (D) y personal (P) es crucial, apoyado por la gestión visual en el entorno de producción.
- Sistema de comunicación: Un sistema de comunicación estructurado por niveles jerárquicos es vital para la agilidad en la toma de decisiones y la ejecución de planes de acción.
- Implicación del personal: Se utilizarán herramientas para motivar al personal y aprovechar las capacidades de todos en el proceso de mejora.
- Sistema eficiente de calidad (QSE): Este sistema se basa en que el GAP asuma la responsabilidad de la calidad del producto, siguiendo un plan de control con siete reglas de trabajo que guían la búsqueda de la excelencia en calidad, como la inspección final y el autocontrol.

Además, Paniagua define conceptos como “equipo”, que refiere a un grupo de personas coordinadas por un líder con un fin común, y “jerarquización”, que se refiere a la estructura de toma de decisiones según la relevancia del cargo.

2.2.2. Mejora continua

La mejora continua según Paniagua (2024) facilita la optimización de nuestros resultados en servicio, productividad, calidad y reducción de desperdicios a través de métodos de trabajo, la participación del personal y sus equipos, así como con indicadores de seguimiento apropiados; este enfoque se origina en los eventos Kaizen, que consisten en una serie de acciones llevadas a cabo por grupos de trabajo con el fin de mejorar los resultados de los procesos actuales; gracias a estas mejoras impulsadas por quienes gestionan los procesos y los operadores, se lograron avances significativos en la rentabilidad de la empresa.

Para implementar un sistema de mejora continua, el autor afirma que es necesario establecer un proceso adecuado dentro de la organización; además, se debe considerar que este es proceso de gestión empresarial se enfoca en transformar la estrategia en acciones concretas mediante un ciclo que funciona de manera descendente para establecer objetivos y ascendente para reportar resultados. Su finalidad es alinear los objetivos estratégicos con las iniciativas de mejora en los niveles más bajos, haciendo hincapié en obtener resultados medibles.

En la mejora continua, sostiene Paniagua que es crucial considerar las prioridades según los resultados y la ubicación de las acciones, dirigiéndose a áreas piloto que ofrezcan un alto potencial de mejora con un menor esfuerzo, así como asegurar la coordinación con

innovaciones y cambios drásticos. El despliegue debe llevarse a cabo de forma escalonada, siendo la matriz Hoshin Kanri una herramienta fundamental para dar inicio a este proceso.

2.2.3. Lean Mining

2.2.3.1. Origen, historia y concepto

Fortuny-Santos et al. (2021) considera que el libro “La máquina que cambió el mundo” (1990) fue clave para la difusión del concepto “lean” o “producción esbelta”, originado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) a partir de un estudio sobre plantas de automóviles; el término “lean” describe un sistema eficiente que utiliza menos recursos, con Toyota como principal ejemplo de gestión lean, basado en su Toyota Production System (TPS), conocido como just-in-time; el objetivo central de la producción lean es crear valor para el cliente, eliminando actividades que no agregan valor (muda) mediante mejora continua; aunque no existe una definición precisa de gestión lean, se considera que cualquier empresa que elimine desperdicios y promueva la mejora participativa aplica estos principios; aunque nació en el sector automotriz, se debate la aplicabilidad universal del lean management en otros sectores, ajustándose a las características de cada industria.

En los últimos años, Fortuny-Santos evidencia que se han investigado diversas aplicaciones de Lean Management (LM) en sectores distintos a la automotriz, como la salud y la construcción. Sin embargo, aún es necesario estudiar cómo se adapta LM a cada sector, incluyendo el minero, que abarca explotaciones subterráneas, a cielo abierto, canteras y extracción de petróleo y gas; este sector es fundamental por su papel en el suministro de materias primas esenciales para la producción de bienes, como metales y minerales críticos para la tecnología moderna; a pesar de las diferencias significativas entre la minería y la manufactura, como la naturaleza continua del proceso minero y la variabilidad geológica, LM puede ayudar a mejorar la eficiencia, reducir desperdicios y aumentar la calidad en el sector minero; sin embargo, se deben investigar sus características y desafíos específicos para su implementación en la minería.

Con referencia al surgimiento del término Fortuny-Santos et al. (2021) , registra en su investigación lo siguiente, en 1989, la industria minera comienza a adoptar las entregas Just in Time (JIT) como respuesta a las demandas de sus clientes, similar a lo que ocurre en el sector industrial. Un estudio anónimo de ese mismo año menciona la implementación de un sistema de gestión de inventarios JIT en una mina de carbón en Estados Unidos, lo que indica que el enfoque JIT llegó al sector minero relativamente temprano. Así se sugiere aplicar el concepto

de World Class Manufacturing, que él define como la fusión entre la gestión de inventarios JIT y la calidad total, en el ámbito minero, señalando que esta metodología—que se considera sinónimo de gestión lean—ya estaba en uso en grandes compañías como Rio Tinto. Otras referencias al JIT demuestran que el término JIT sigue siendo utilizado a pesar de la popularización del término lean. Aunque a menudo se utilizan como sinónimos, es crucial recordar que JIT es solo un componente del sistema de producción de Toyota; los autores que emplean el término JIT en estos primeros estudios se enfocan principalmente en la gestión de inventarios.

Fue Chadwick en 1995 el primero en introducir el término “lean mining”, el cual fue posteriormente mencionado por Vanegas como una estrategia para reducir el tiempo de throughput, las existencias, el desperdicio de recursos y los retrabajos, que son metas comunes en la gestión lean. Al igual que en el ámbito de la salud, el concepto de lean mining se ha vuelto común para referirse a la aplicación de principios lean en la minería, y ya cuenta con un sitio web en la plataforma de Lean Global Network, fundada por Womack. Además, existe el Instituto Lean Mining. Estas organizaciones ayudan a promover las mejores prácticas y a fomentar la implementación del lean management en el sector minero (Fortuny-Santos et al., 2021).

En cuanto al concepto Azzamouri et al. cómo se cita en Fortuny-Santos et al. (2021), introducen el concepto de lean mining como una forma de optimizar el uso de los recursos naturales con un menor consumo de insumos productivos. Dada la reputación negativa que históricamente han tenido las actividades mineras debido a su impacto en el medio ambiente, es fundamental que un sistema de gestión en esta industria considere el compromiso con la sostenibilidad. Por esta razón, proponen el lean mining responsable, que se centra en una explotación racional y sostenible a largo plazo.

2.2.3.2. Minería Eficiente

Lean Mining Institute (LMI, 2024), considera que el Lean Mining, establece un sistema de producción eficiente donde la materia prima se convierte gradualmente en productos finales con el trabajo necesario y una estructura de costos sostenible; su enfoque conecta la mina con el molino para optimizar la integración operativa, mejorando la capacidad, gestionando la variabilidad, reduciendo costos, aumentando la calidad y eficiencia, y acortando los tiempos de entrega, todo mientras se priorizan la seguridad y el cuidado ambiental; lean Mining se adapta a las condiciones cambiantes, eliminando obstáculos en el flujo de producción y asegurando

tanto un control del proceso como una retroalimentación eficaz para medir el rendimiento; así, el flujo de información es tan crucial como el de los materiales.

2.2.3.3. Diferencia entre Lean Manufacturing y Lean Mining

La minería presenta una naturaleza cíclica que según Lean Mining Institute (2024) fomenta una respuesta reactiva a las fluctuaciones del mercado; en períodos de bonanza, la producción se incrementa, a menudo en detrimento de la eficiencia, con el objetivo de maximizar los ingresos; ante las primeras señales de una desaceleración económica, se implementan rápidamente estrategias de reducción de costos para recuperar el control sobre los gastos en un contexto de caída en los precios de los metales.

La mayoría de las organizaciones como señala Lean Mining Institute, estructuran sus operaciones siguiendo este modelo:

Precio de venta = Utilidad + Costo.

Sin embargo, el enfoque de Lean propone una visión diferente:

Beneficio = Precio de venta – Costo.

En el sector minero, según Lean Mining Institute, el precio de venta está determinado por el mercado de materias primas y no por las políticas de rentabilidad de la empresa, como los objetivos de EBITDA; en un modelo de minería eficiente, se prioriza la reducción de costos, ya que estos son controlables y deben ser disminuidos para alcanzar la rentabilidad.

Lean Mining y Lean Manufacturing son enfoques que comparten la filosofía de mejorar la eficiencia y reducir desperdicios, pero se aplican en contextos diferentes y presentan características distintas.

- Contexto de Aplicación:

- Lean Manufacturing se centra en el entorno de producción industrial, optimizando procesos de fabricación para eliminar desperdicios relacionados con la producción, como exceso de inventario y tiempos de espera (Womack & Jones, 1996).
- Lean Mining, por otro lado, se aplica al sector minero, buscando una mejor explotación de los recursos naturales con un menor consumo de factores productivos (Azzamouri et al., 2016).

- Naturaleza del Proceso:
 - En la manufactura, los procesos suelen ser discretos y controlados, permitiendo una gestión más estable y predecible (Womack & Jones, 1996).
 - En minería, la explotación es un proceso continuo y a menudo se enfrenta a variaciones geológicas e incertidumbres, lo que dificulta la implementación de técnicas lean tradicionales (Azzamouri et al., 2016).
- Objetivos Específicos:
 - Mientras que el objetivo principal de Lean Manufacturing es maximizar la eficiencia en la producción de bienes mediante la reducción de actividades que no añaden valor, Lean Mining también incorpora un fuerte compromiso con la sostenibilidad debido a las preocupaciones ambientales asociadas con la minería (Azzamouri et al., 2016).
 - Lean Mining busca no solo mejorar la eficiencia operativa, sino también asegurar una explotación racional y sostenible a largo plazo (Mottola, 2018).
- Herramientas y Técnicas:
 - Ambas metodologías utilizan herramientas similares como 5S, TPM (Mantenimiento Productivo Total) y VSM (Mapeo de Flujo de Valor), pero su aplicación puede variar significativamente debido a las diferencias en los entornos operativos (Womack & Jones, 1996; Azzamouri et al., 2016).
- Desafíos en la Implementación:
 - En manufactura, los desafíos suelen estar relacionados con la resistencia al cambio en un entorno más controlado (Womack & Jones, 1996).

En minería, los obstáculos pueden incluir la falta de confianza en las nuevas metodologías y las características intrínsecas del entorno minero que complican la adopción de técnicas lean (Azzamouri et al., 2016).

2.2.3.4. Por qué la industria minera necesita desesperadamente el pensamiento lean

Mottola (2018) explica que, inicialmente, no planeaba seguir una carrera en minería, ya que su objetivo era convertirse en ingeniero mecánico; sin embargo, después de conseguir un trabajo de verano en un centro de investigación minera durante su primer año en la Universidad McGill, se sintió atraído por los desafíos técnicos de la industria y decidió especializarse en ingeniería de minas con un enfoque en automatización y robótica.

A lo largo de su carrera, especialmente durante los ciclos de bajos precios de las materias primas, se vio obligado a buscar empleo en otros sectores, como la industria automotriz y aeroespacial, donde su experiencia en automatización fue valorada. Trabajó en General Motors y en Pratt & Whitney Canada, donde aprendió sobre el pensamiento lean, lo que tuvo un impacto positivo en su trayectoria profesional; cuando los precios de las materias primas volvieron a subir, regresó a la minería con una nueva perspectiva sobre la gestión y el trabajo.

2.2.4. Aplicación de las 5S

2.2.4.1. Definición

- **Seiri (Clasificar)**

Para visualizar mejor los procesos en 5S y sus subprocesos, Seiri es el enfoque metódico utilizado para el espaciamiento en el puesto de trabajo. Los organizadores marcan las zonas con cintas para las áreas que se utilizarán más tarde. Además, Reza y Azwir (2019) también argumentan que esta práctica despeja el área de trabajo y reduce el desperdicio de tiempo y pérdidas y, lo más importante, mejora la productividad debido al espacio de trabajo limitado. Estos autores también argumentan que una “clasificación” adecuada promueve el “desperdicio” a orden y al mismo tiempo mejora el control de inventario.

- **Seiton (Ordenar)**

Como lo definen Fuad et al. (2019). Seiton se concentra en la disposición lógica y sistemática de los elementos, donde cada objeto tiene una ubicación asignada para reducir la confusión y mejorar la velocidad de los procesos. De la misma manera, Reza y Azwir (2019) argumentan que el conjunto identificado de colocación sistemática y organizada de unidades es apropiado para el trabajo colaborativo en equipo para que cada miembro del equipo pueda reducir errores en cualquier trabajo que realicen y mejorar el trabajo colaborativo en un equipo. Además, este paso mejora la secuencia de trabajo para que se vuelva lógica y más sistemática, en cuyo caso la secuencia es proporcionalmente directa al aumento de productividad y la reducción de paradas operativas.

- **Seiso (Limpiar)**

Como describen Fuad et al. (2019), la práctica de Seiso es el mantenimiento del espacio mediante limpieza periódica para deshacerse de la suciedad, el desorden y la desorganización donde la seguridad es una prioridad. De la misma manera, Reza y Azwir (2019) argumentan que este paso mejora la apariencia general del espacio e ilumina fallos

en el equipo e inculca un sentido de pertenencia al lugar de trabajo entre los empleados. Además, los autores enfatizan que la limpieza sistemática mejora la durabilidad de las herramientas y equipos del lugar de trabajo, asegurando así una producción continua.

- Seiketsu (Estandarizar)

Según Fuad et al. (2019), el objetivo del Seiketsu ya desarrollado es consolidar los últimos tres pasos al definir pasos claros para garantizar la continuación de las prácticas positivas. Reza y Azwir (2019) señalan que el uso de manuales, auditorías y otras herramientas visuales refuerza la estandarización, manteniendo los resultados durante largos períodos. Ambos también coinciden en que este principio nutre la cultura de responsabilidad compartida, en la que cada empleado se encarga de mantener todo ordenado y en su lugar.

- Shitsuke (Disciplina)

Según Ulum et al. (2023), el principio de Shitsuke refuerza la disciplina individual y colectiva como base para la mejora sostenida, cultivando así la cultura de 'Disciplina' de la organización. Por otro lado, Fuad et al. (2019) señalan que el funcionamiento de las Reglas es el resultado del entrenamiento de refuerzo, por lo tanto, el esfuerzo de la organización se convierte en un conjunto de prácticas uniformes. Además, afirman que la ausencia del comportamiento operativo estándar es un contraste de la 'Resistencia al Cambio' y amplifica positivamente la identidad organizacional.

2.2.4.2. *Objetivos de la metodología 5S*

Los objetivos de la Metodología 5S, tal y como se indica en Michalska y Szewieczek (2007), aumentan la calidad y la productividad de una organización, al ofrecer un espacio de trabajo seguro, limpio y ordenado. De la misma forma, Wolniak (2020) destaca que este método promueve la autoestandarización, la cual, en efecto, disminuye el excedente y el tiempo empleado en el orden en actividades estandarizadas. Ambos subrayan que los objetivos son de una filosofía Lean, que favorecen procesos que son más claros y simplificados que afectan para bien la competitividad de los negocios.

Además, Pompei y Pereira (2022) señalan que mejorar la competitividad es la disciplina principal de los objetivos de la metodología. Michalska y Szewieczek (2007) también explican que lograr estos objetivos fortalece la capacidad de una organización para responder a las condiciones cambiantes del mercado y mantener el resultado previsto. Este enfoque fomenta una cultura de previsión e innovación en la gestión operativa de la organización

2.2.4.3. Beneficios de aplicar 5S en minería y procesos productivos

Como señalan Prawira et al. (2018), la aplicación de 5S en la minería ayuda a eliminar el tiempo de inactividad, mejora la productividad del equipo 5S y reducir los accidentes laborales. Además, Garay y Collao-Díaz (2024) indican que estos métodos agilizan las actividades de reparación de máquinas y mejoran las condiciones de seguridad, añadiendo eficiencia así y sostenibilidad en la gestión productiva. También afirman que ejercer el modelo de manera continua aumenta la confianza operativa, mejorando así la cultura organizacional.

Por otro lado, Chi (2024) señala que este modelo ayuda a reducir el desperdicio de recursos y reducir costos en los procesos. En la misma línea, Mazur et al. (2024) argumentan que el enfoque propuesto mejora la motivación de los empleados y refuerza la cultura de la excelencia como resultados adicionales derivados de su implementación. Ambos enfatizan que estos beneficios realzan la sostenibilidad de los resultados y la confianza consolidada depositada en los equipos.

2.2.4.4. Limitaciones y desafíos en su implementación

Según Pompei y Pereira (2022), uno de los principales desafíos de implementar prácticas 5S es la resistencia de los trabajadores a adoptar estas prácticas y la falta de recursos suficientes para apoyar el modelo. Wolniak (2020), por otro lado, enfatiza la necesidad de un compromiso adecuado por parte de la alta dirección, ya que estas prácticas dependen en gran medida de su apoyo. Sin una guía adecuada, las ganancias disminuirán con el tiempo. Además, ambos coinciden en que la falta de liderazgo es el principal obstáculo para incorporar los principios a la cultura organizacional.

Al mismo tiempo, Michalska y Szewieczek (2007) afirman que es necesaria una capacitación continua para perpetuar las prácticas arraigadas en esta metodología. Chi (2024) también subraya que la incorporación de estas prácticas 5S en la cultura organizacional es necesaria para romper los silos y mantener los resultados alcanzados. Ambos también mantienen que el seguimiento y la revisión regulares y sistemáticas son los otros factores que sostienen el programa a lo largo del tiempo.

2.2.4.5. Casos de aplicación en la industria minera subterránea

Según Prawira et al (2018), la aplicación del método 5S en la minería subterránea mejora enormemente la organización de los talleres al disminuir el tiempo de reparación y aumentar, así como la disponibilidad general del equipo. Al mismo tiempo, Garay y Collao-Díaz (2024)

demuestran que, cuando se combinan con metodologías Lean, estas prácticas aumentan la seguridad y la eficiencia. Ambos coinciden en que este enfoque fomenta la responsabilidad compartida y aumenta la productividad a largo plazo.

En otro estudio, Pompei y Pereira (2022) afirman que la adopción de 5S ha logrado aumentos de más del 40% en la velocidad de reparación de equipos pesados, y subraya así su importancia para la competitividad de las empresas. Consistente con esto, Susanto y Sulistyowati (2020) destacan que el enfoque mejora la productividad y también avanza la cultura de mejora en los entornos mineros. Así, ambos enfatizan que la integración de 5S con herramientas Lean sigue siendo un enfoque muy valioso.

2.2.5. Estandarización de Procesos

2.2.5.1. Concepto de estandarización en Lean Mining

Pakdil y Leonard (2017) sostienen que la estandarización de minería lea es la unificación de flujos de trabajo para reducir la variabilidad y optimizar el uso de recursos. En este sentido, Kęsek et al. (2019) enfatizan que este paradigma permite la detección temprana de problemas y la eficacia operativa a través de diferentes culturas organizacionales. Ambos autores afirman que el paradigma muere con los marcos operativos de la organización mejorando la integración de actividades, la colaboración de equipos interfuncionales y la captura de sinergias organizacionales. Además, Pakdil y Leonard (2017) subrayan que se construyen léxicos operativos y Kęsek et al. (2019) observaron que este tipo de estandarización simplifica los flujos de conocimiento inter e intra organizacionales, reduce la curva de aprendizaje, la trazabilidad operativa y crea otros atributos vitales para la toma de decisiones operativas integradas, geoespacialmente y dinámicamente complejas en la minería.

2.2.5.2. Relación entre estandarización y calidad

Kęsek et al. (2019) definen claramente los procesos de estandarización que eliminan errores y garantizan la uniformidad de calidad en productos y servicios.

Al mismo tiempo, la calidad junto con el sistema de gestión, como en la ISO 9001, mejora la capacidad de respuesta de las organizaciones y mejora la comunicación y la productividad (Sá et al., 2020). Ambos subrayan que la integración de la estandarización mejora el enfoque en el cliente y asegura una calidad sostenible a lo largo del tiempo. Además, Kęsek et al. (2019) señalan que la reducción de la variabilidad resulta en un control estadístico más fuerte, y Sá et al. (2020) argumentan que la alineación de procesos con los requisitos regulatorios mejora las

auditorías de calidad efectivas, la evidencia objetiva y los ciclos de retroalimentación que fomentan una cultura de calidad basada en datos.).

2.2.5.3. Metodología para implementar procesos estandarizados

Pakdil y Leonard (2017) argumentan que el paso de implementación implica registrar las mejores prácticas, capacitación de empleados y auditorías continuas para permitir la sostenibilidad. A esto, Khaba y Bhar (2018) añaden que superar la resistencia cultural y la falta de coordinación interdepartamental son procesos críticos para lograr la estandarización. Ambos enfatizan que el trabajo de los líderes y el personal juntos es crítico para que la metodología se convierta en parte de la cultura dentro de la organización. De hecho, Pakdil y Leonard (2017) abogan por pilotos controlados y métricas claras en las etapas, mientras que Khaba y Bhar (2018) abogan por mapas de influencia y patrocinio ejecutivo para eliminar barreras sistémicas, asegurando que los cambios no sean iniciativas aisladas, sino prácticas operativas rutinarias que sean sostenibles.

2.2.6. Beneficios de la estandarización en la reducción de desperdicios y errores

Los principales beneficios, según lo descrito por Kęsek et al. (2019), son la reducción de desperdicios y costos y el aumento de la satisfacción de los clientes. En la misma línea, Sá et al. (2020) sostiene que esto optimiza la mejora continua y el sostenimiento de los hitos alcanzados, fomentando así una cultura de logros. Mencionan que ambos defensores de la simplificación de procesos fomentan una de la iniciativa más imaginativa y elevada. En particular, Kęsek et al. (2019) describen que, en este caso, la repetición reduce la inversión del trabajo y el tiempo de inactividad del sistema, mientras que Sã et al. (2020) ilustran cómo la colaboración con Lean Six Sigma ofrece visuales de capas y análisis de causas raíz de los procesos que tanto estabilizan como mejoran los beneficios operativos.

2.2.7. Kaizen (Mejora Continua)

2.2.7.1. Concepto y origen del Kaizen

Kumiega y Van Vliet (2008) afirman que el Kaizen nació en el Japón de la posguerra como un enfoque de reconstrucción industrial cuyo centro era la mejora de los resultados y el compromiso de cada empleado. En este sentido, Podlesny (2024) señala que su éxito proviene de una acumulación de pequeños cambios a lo largo del tiempo que resultan en un cambio positivo en la efectividad organizacional y la productividad. Ambos académicos enfatizan que

el núcleo del Kaizen está en la adherencia a la disciplina, los esfuerzos colaborativos y la voluntad de cambiar y adoptar nuevos conceptos.

Ambos académicos señalan que la esencia del Kaizen es el compromiso con la disciplina, los esfuerzos conjuntos y la voluntad de cambiar y abrazar nuevas ideas.

Además, Kumiega y Van Vliet (2008) señalan que "aprender haciendo" es la fuerza impulsora del avance, mientras que Podlesny (2024) menciona que la estandarización del proceso después de cada mejora evita regresiones, destilando el conocimiento en rutinas críticas diarias que sostienen los resultados a lo largo del tiempo.

2.2.7.2. Principios fundamentales de la mejora continua

Kumiega y Van Vliet (2008) señalan que los principios del Kaizen se centran en el desperdicio y en la toma de decisiones basada en datos. Al mismo tiempo, Podlesny (2024) insiste en que también busca alcanzar una cultura organizacional que no rehuya el statu quo, con énfasis en la resistencia y la disciplina como la base de la competitividad. Ambos coinciden en que la cultura de la mejora continua es una actitud hacia la disposición colectiva en la que la motivación colectiva es reconocer y elevar el error. En esa línea de pensamiento, Kumiega y Van Vliet (2008) abogan por ciclos cortos de prueba y aprendizaje, mientras que Podlesny (2024) especifica que la exhibición de un suministro abundante de métricas en el piso, combinada con retroalimentación frecuente, empodera a los equipos para identificar cuellos de botella y mantener tasas realistas de mejora.

2.2.7.3. Herramientas de apoyo al Kaizen

Kumiega y Van Vliet (2008) enfatizan el ciclo PDCA y la metodología 5W2H como herramientas primarias para sistematizar y analizar el fenómeno de la mejora continua. En la misma línea, Podlesny (2024) afirma que el uso del diagrama de Ishikawa junto con las metodologías de 5S y Six Sigma multiplica el uso de Kaizen en varias áreas de producción. Los autores afirman que estas herramientas facilitan análisis más profundos de problemas y mejoran la efectividad de la gestión operativa. Además, Kumiega y Van Vliet (2008) recomiendan encarecidamente intentar sistematizar las lecciones aprendidas de cada ciclo PDCA, en contraste con Podlesny (2024), quien se enfoca más en tableros visuales y kaizen blitz para ahorrar tiempo y determinar de manera más eficiente las relaciones de causa y efecto que se basan en hechos objetivos que validan las contramedidas.

2.2.7.4. Beneficios del Kaizen en productividad, costos y seguridad

Kumiega y Van Vliet (2008) afirman que el Kaizen ayuda en la reducción de costos, tiempos de ciclo y errores, todo mientras se logran resultados de calidad. Además, Jadhav et al. (2014) señalan que esta filosofía aumenta la seguridad laboral y la motivación, mejorando así la sostenibilidad y la competitividad organizacional. Ambos indican que la práctica continua de Kaizen crea un entorno de confianza que fomenta el aprendizaje continuo y la excelencia. Más específicamente, Kumiega y Van Vliet (2008) asocian la estabilidad del proceso con menos variación y menos desperdicio, mientras que Jadhav et al. (2014) demuestran mejoras medibles en ergonomía, orden y comunicación que permiten resultados sostenidos y una cultura proactiva.

2.2.8. Proceso de Voladura

Bajo el estudio de Díaz-Martínez (2012) el proceso de voladura se refiere a la activación de una gran cantidad de explosivos con el objetivo principal de fragmentar la roca. Este procedimiento consta de varias etapas esenciales:

- **Preparación:** Se perforan barrenos en la roca, donde se colocarán los explosivos. Factores como el diámetro y la profundidad del pozo son fundamentales, dependiendo del equipo empleado y del diseño de la voladura.
- **Carga de explosivos:** Se introducen los explosivos en los barrenos perforados. Es relevante destacar que, durante la explosión, únicamente entre el 20 y el 30% de la energía liberada se utiliza efectivamente para romper y mover las rocas, mientras que el resto se disipa en efectos secundarios.
- **Detonación:** Se inicia la explosión, generando una onda de choque y gases en rápida expansión. Esta onda afecta la roca circundante, provocando deformaciones elásticas y tensiones en la masa rocosa.
- **Fragmentación:** La energía liberada en la explosión provoca la ruptura de la roca, creando detritos que caen y se acumulan para formar una pila de escombros, completando así el proceso de voladura.
- **Remoción y transporte:** Por último, el material fragmentado se retira y transporta para su procesamiento o extracción, lo cual es crucial para las operaciones mineras.

Este procedimiento, como indican los autores, es fundamental en la minería a cielo abierto, ya que permite obtener grandes volúmenes de material en un tiempo relativamente breve y con una fragmentación adecuada, lo que facilita su manejo posterior.



CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la Investigación

Según Hernandez et al. (2014) el diseño no experimental, es un tipo de investigación en la que se observan y analizan los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, sin manipular deliberadamente las variables. En este enfoque, el investigador no interviene para alterar ninguna situación, sino que recopila datos en un solo momento (transversal) o a lo largo del tiempo (longitudinal) para analizarlos.

En este caso la investigación es no experimental debido a que se busca proponer una optimización sobre el proceso de voladura en una mina subterránea, donde se observara y analizara el proceso tal como ocurre en su contexto natural, permitiendo identificar patrones, deficiencias y áreas de mejora. Este enfoque es útil para recoger datos reales y relevantes, sin alterar el funcionamiento normal de las operaciones mineras, y permite proponer mejoras basadas en el análisis de la situación actual.

3.2. Tipo de Investigación

Según Hernandez et al. (2014) hay dos tipos de investigación, la investigación aplicada que busca resolver problemas y la investigación básica que pretende producir teorías y conocimiento. La presente investigación es aplicada ya que si bien no busca la implementación si soluciona un problema de la realidad y busca la aplicación de herramientas en un futuro cercano.

3.3. Nivel de la Investigación

Según Hernandez et al. (2014) los estudios explicativos se centran en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiestan, o porque se relacionan dos o más variables. A través de estos estudios, se busca especificar las propiedades, características o perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos u otros fenómenos en análisis.

Este tipo de estudio es adecuado para una tesis que propone una solución al proceso de voladura mediante Lean Mining, ya que se necesita una comprensión detallada de las características actuales del proceso de voladura. Describir las propiedades y condiciones de la voladura permite identificar áreas de mejora específicas sin necesariamente enfocarse en cómo

se relacionan las variables, lo que es crucial para proponer soluciones dentro del marco de Lean Mining.

3.4. Método de la Investigación

Según Hernandez et al. (2014) el método deductivo se basa en hipótesis preestablecidas, donde se miden variables y su aplicación debe sujetarse al diseño concebido con antelación; al desarrollarse, el investigador está centrado en la validez, el rigor y el control de la situación de investigación. Este trabajo se ejecutó con este método, ya que permitió aplicar un marco teórico probado, a partir de las teorías y principios de Lean Mining, lo que puede estructurar el proceso de optimización de la voladura de manera lógica, basándose en estrategias previamente validadas para reducir desperdicios, mejorar la eficiencia y gestionar recursos.

3.5. Levantamiento de información

3.5.1. Técnicas

- Observación: Se levantó información directamente de la empresa, ya que se tiene acceso al proceso de voladura y a la base de datos cuantitativa que maneja los indicadores de dicho proceso, estos datos permitieron establecer un diagnóstico del proceso y a su vez determinar las causas del problema en estudio

3.5.2. Instrumentos

- Guía de observación documental
- Guía de observación presente

3.6. Métodos de ingeniería a aplicarse

- Pareto
- Análisis causa- raíz
- Herramientas propias de Lean Mining
- Análisis económico

3.7. Cobertura de estudio

3.7.1. Población

La población está conformada por la totalidad de procesos operativos que ejecuta la empresa para poder realizar la extracción de minerales. Estos son 6:

- Perforación
- Voladura
- Limpieza
- Carguío
- Transporte
- Sostenimiento

3.7.2. Muestra

La muestra se halla a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando el enfoque de la investigación. Por lo tanto, la muestra está conformada únicamente por el proceso de voladura.

CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1. Datos Generales de la Empresa

Empresa – Unidad minera – área de geo mecánica y área de planeamiento (proceso de voladura)

4.1.1. Origen e Historia

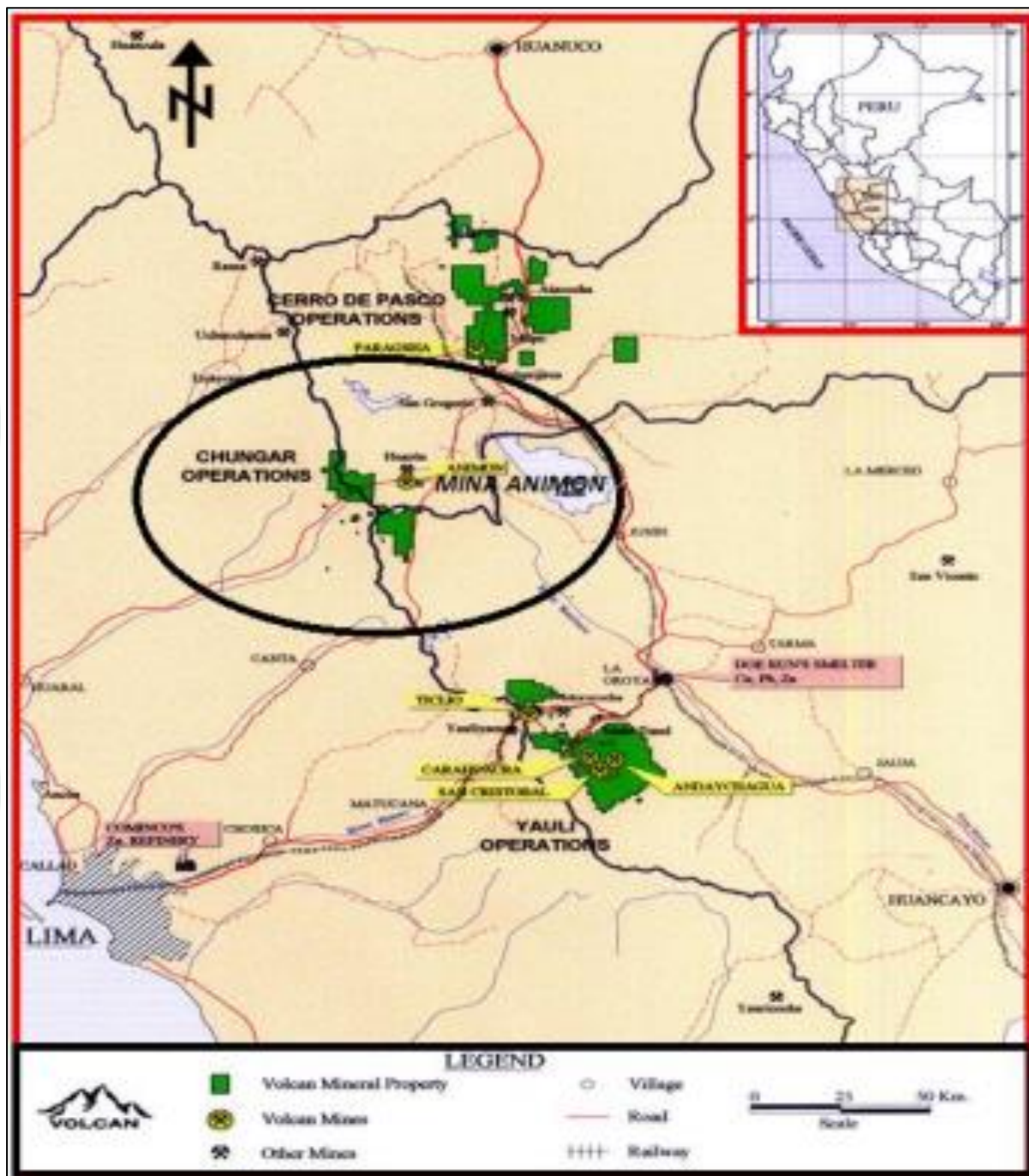
El origen y la evolución de la empresa revelan una organización con una larga trayectoria productiva en la Sierra Central del Perú, productora de zinc, plata y plomo, con un nivel de integración operativa elevado, debido a su propia generación energética y a la participación de diversos contratistas especializados. Este contexto histórico evidencia que la empresa ha construido un modelo productivo basado en múltiples aliados estratégicos para distintas funciones críticas del proceso minero, lo cual incrementa la complejidad operativa y hace indispensable la existencia de sistemas robustos de coordinación, estandarización y control. La participación de proveedores como Ferreyros, Resemin, Paus, Apromic y Robocon indica un ecosistema de alto nivel técnico, pero también expone la dependencia hacia terceros, lo que puede originar variabilidad en el desempeño si no existe un alineamiento claro en protocolos, estándares de seguridad y tiempos de respuesta. Esto constituye uno de los primeros indicios que explican los problemas identificados posteriormente en el análisis de causa raíz.

Detallando las actividades de los proveedores principales de la empresa, se tienen aquellos proveedores que se encargan del mantenimiento a la maquinaria pesada, como (Ferreyros, Resemin y Paus), cada una de estas empresas solo intervienen en sus equipos. Resemin se encarga de darle mantenimiento a (jumbos, emperadoras, utilitarios), Ferreyros a (excavadoras, cargadores, raptors) y Paus se encarga de darle mantenimiento a (utilitarios, scailers). Para el sistema de bombeo se encarga Apromic, una contratista que se encarga de evacuar toda el agua subterránea y lodo fuera de la mina subterránea. Para el sostenimiento como tal de la mina subterránea se tiene a Robocon, la cual se encarga de suministrar shotcrete dependiendo de la necesidad. El trabajo de minado es compartido, la empresa Aesa se encarga de minar parte de las labores. Para la perforación de terrenos rocosos, donde no puede intervenir la voladura, se utilizan maquinas especiales de Master Drilling. Para el soporte de seguridad y protocolo se encarga la empresa Sirius, la cual maneja un sistema de vigilancia y control de

ingresos y salidas de mina. Por último, la empresa San Juan es la que se encarga de gestionar los proyectos en superficie, como las nuevas relaveras y nuevas estructuras.

Figura 2

Mapa de la unidad minera



Nota. Mapa de las unidades de la Compañía Minera en Estudio. *Nota.* Compañía Minera en Estudio

La unidad minera cuenta con una alta gama de clientes, los cuales ayudan a impulsar el crecimiento de esta, las ventas son principalmente al mercado nacional (72%), seguido por

China (9%), Suiza (8%), Corea del Sur (7%) y Canadá (1%). Entre sus principales clientes se encuentran sus relacionadas, Glencore Perú y Glencore Lima Trading, las cuales representan cerca del 80%.

4.1.2. Cultura Empresarial

La cultura organizacional de la empresa está configurada por la coexistencia de personal propio y múltiples contratistas, cada uno con prácticas, ritmos y niveles de control distintos. Aunque esta estructura puede brindar flexibilidad operativa, también genera retos significativos en cuanto a la homogeneización de criterios, disciplina operativa, responsabilidad compartida y comunicación transversal. La existencia de fallas recurrentes en el proceso de voladura—especialmente las relacionadas con incumplimiento de protocolos, errores operativos, desorden en las áreas de trabajo y falta de retroalimentación sistemática—revela que aún no existe una cultura plenamente consolidada de mejora continua, orden y estandarización, elementos fundamentales en entornos Lean. De esta manera, la cultura actual presenta oportunidades importantes para fortalecer la seguridad operativa, la disciplina y la participación activa del personal en la identificación y resolución de problemas.

4.1.2.1. Misión

Somos un grupo minero de origen peruano que persigue la maximización de valor a sus accionistas, a través de la excelencia operativa y de los más altos estándares de seguridad y manejo ambiental, contribuyendo al desarrollo de su personal y de su entorno.

4.1.2.2. Visión

Ser reconocidos como la minera líder en zinc, plata y plomo en el centro del Perú, destacando por nuestra innovación tecnológica, compromiso con la sostenibilidad ambiental y social, y nuestra capacidad de generar valor compartido para nuestros colaboradores, comunidades y accionistas, contribuyendo al desarrollo integral de la región

4.1.2.3. Valores

- Seguridad

Nunca cedemos en cuanto a la Seguridad. Nos cuidamos nos a otros y si el trabajo no es seguro, lo paramos.

- **Integridad**

Tenemos la valentía de hacer lo correcto, aunque sea difícil. Cumplimos nuestra palabra y nos tratamos de manera justa y respetuosa.

- **Responsabilidad**

Asumimos la responsabilidad de nuestras acciones. Dialogamos con los demás para entender lo que esperan de nosotros. Trabajamos para mejorar nuestro desempeño

- **Transparencia**

Somos honestos y directos cuando nos comunicamos. Nos esforzamos para mejorar, compartiendo información, fomentando el diálogo y la retroalimentación.

- **Simplicidad**

Trabajamos de manera eficiente y nos enfocamos en lo importante. Evitamos la complejidad y buscamos soluciones sencillas y pragmáticas.

- **Espíritu Empresarial**

Fomentamos las ideas nuevas y nos adaptamos rápidamente al cambio. Siempre buscamos nuevas oportunidades para crear valor, al igual que formas para trabajar mejor y de manera segura.

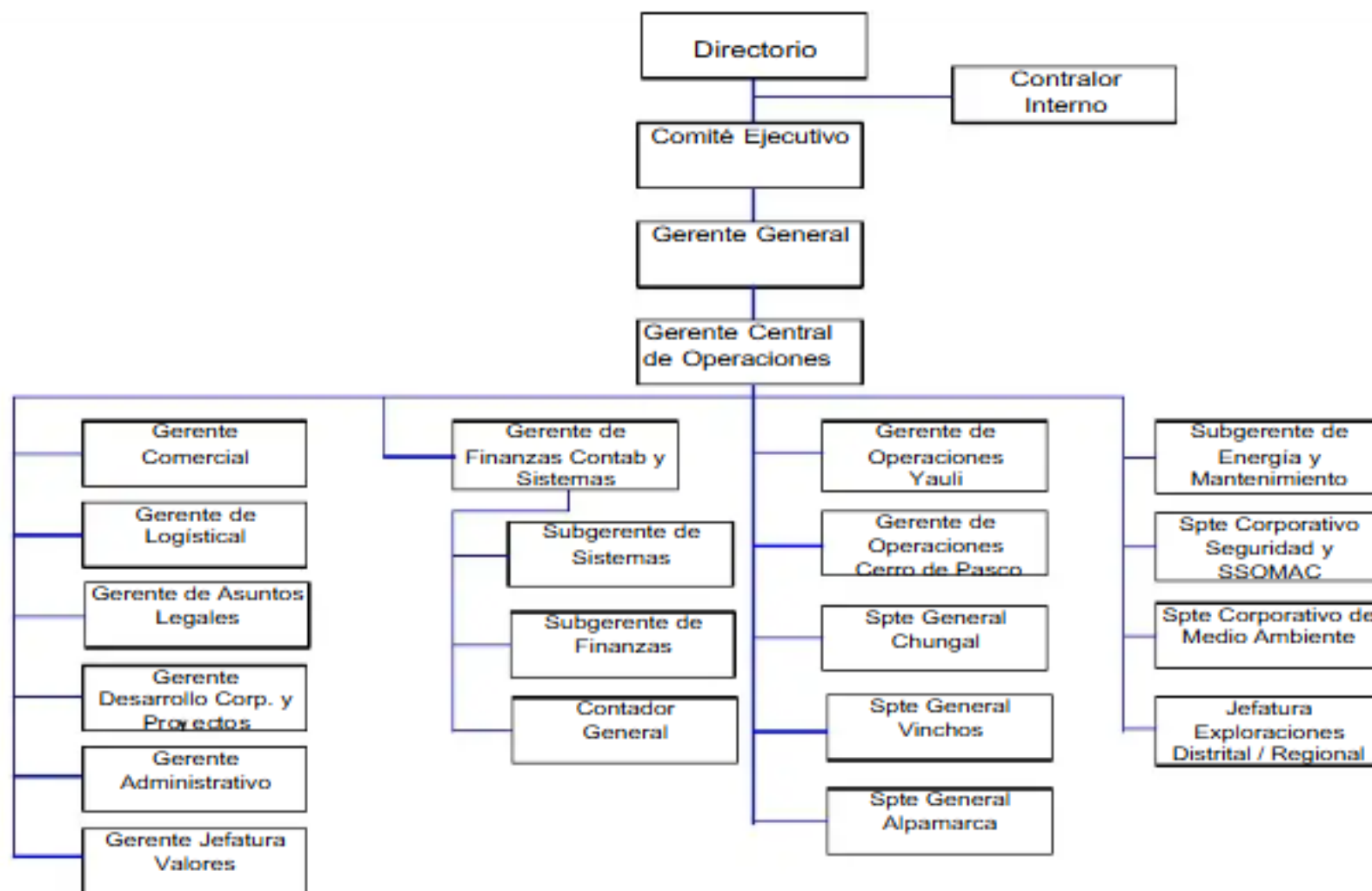
4.1.3. Estructura Organizacional

La compañía en cuestión tiene 5 unidades mineras en la cordillera de los Andes, entre Lima, Pasco y Junín, de las cuales nos centraremos en la Unidad Minera Chungar.

La estructura organizacional presenta una configuración tradicional por áreas: operaciones, geomecánica, planeamiento, mantenimiento, seguridad y contratistas especializados. Esta estructura funcional es adecuada para empresas mineras de mediana y gran escala; sin embargo, se detectan brechas operativas en la planificación conjunta, falta de reuniones integradas, ausencia de flujos de información estandarizados y diferencias en la interpretación de responsabilidades. Esta desconexión estructural influye directamente en retrasos operativos, sobrecarga de equipos, fallas de comunicación y variabilidad en la calidad de la ejecución. Por tanto, resulta indispensable fortalecer mecanismos como reuniones inter-áreas, protocolos unificados, tableros de gestión visual y sistemas de control basados en datos.

Figura 3

Organigrama de la Compañía Minera en Estudio

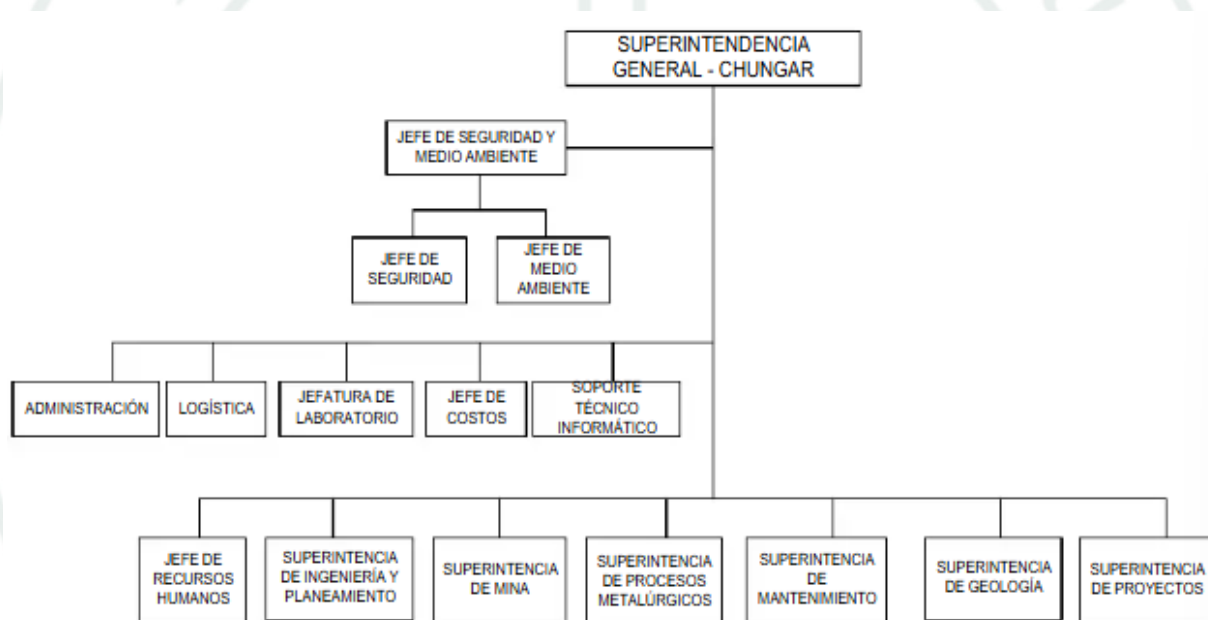


Nota. Organigrama de la Compañía Minera Volcan donde se muestra las unidades mineras y gerencias. *Nota.* Compañía Minera Volcan.

Si bien la compañía en cuestión tiene 5 unidades mineras, la unidad minera en estudio actualmente está estructurada por cuatro superintendencias, una gerencia de operaciones, la cual está al mando de seis superintendencias secundarias y por último seis jefaturas a cargo del gerente general de operaciones.

En la cima se encuentra el gerente general de operaciones, seguido por el gerente de operaciones y cuatros superintendentes que supervisan diferentes áreas como geología, mantenimiento, recursos humanos y seguridad. Se incluye a los jefes de departamentos como, logística, laboratorio, administración, tecnología de la información y relaciones laborales, en la cual se postula así:

Figura 4
Organigrama de la Unidad Minera Chungar



Nota. Organigrama de la Unidad Minera Chungar donde se muestra las áreas y superintendencias. *Nota.* Compañía Minera en Estudio– Unidad Minera Chungar.

4.1.3.1. Superintendencia de Geología

El departamento de geología desempeña un papel fundamental para garantizar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de las operaciones.

La exploración geológica: se encarga de identificar y caracterizar los yacimientos minerales. A través de estudios geológicos, perforaciones y mapeo, determina la extensión, la calidad y la concentración del mineral en el subsuelo. Sus principales actividades son:

- Estudio de geología estructural
- Modelado geológico
- Estudio de la estabilidad geotécnica
- Asesoramiento en la extracción de mineral

4.1.3.2. Superintendencia de ingeniería y Planeamiento

Su función esencial es la optimización de los procesos mineros, garantizando que la operación se lleve a cabo de manera eficiente, segura y rentable, entre sus funciones están:

- Planificación y diseño de mina
- Evaluación y optimización de recursos y reservas
- Elaboración de planes de producción
- Gestión de tiempos y recursos
- Gestión de ciclo de vida de la mina

4.1.3.3. Jefatura de Administración y Costos

Se encarga de garantizar que las operaciones mineras sean rentables, eficientes y sostenibles, manteniendo un control exhaustivo de los recursos económicos y gestionando adecuadamente los costos involucrados en el proceso de extracción, procesamiento y comercialización del mineral

- Elaboración y control del presupuesto
- Análisis financiero y rentabilidad
- Gestión del inventario

4.1.3.4. Superintendencia de Asuntos Ambientales

Esta tiene un papel crucial en garantizar que las operaciones, incluidos los procesos de voladura, se realicen de acuerdo con las normativas ambientales y con un enfoque en la sostenibilidad. Este departamento no solo se encarga de cumplir con las regulaciones, sino también de implementar medidas preventivas para minimizar el impacto ambiental de las voladuras.

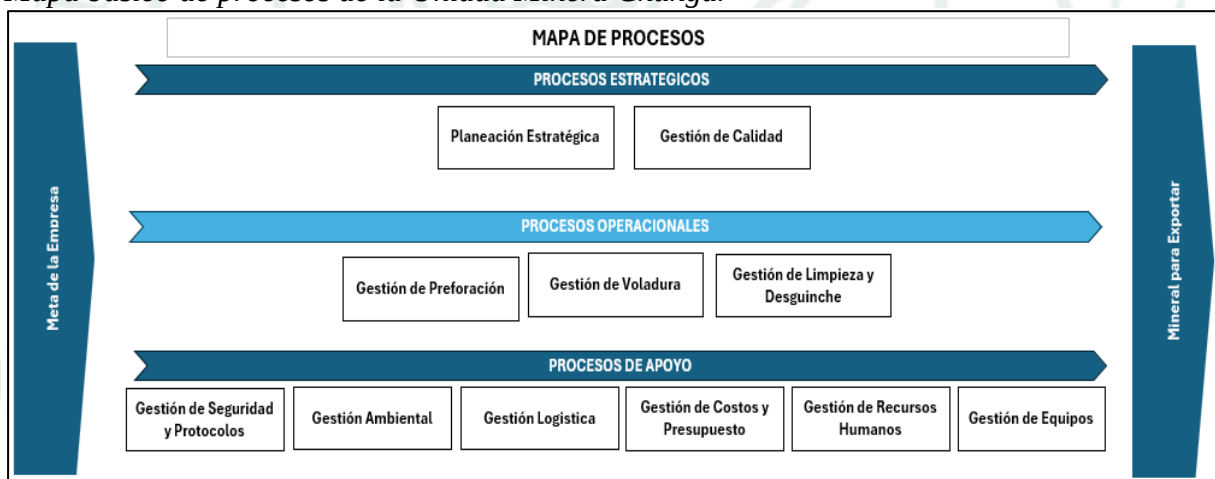
- Evaluación de Impactos Ambientales Previo a la Voladura

- Control de Polvo y Emisiones durante la Voladura.
- Gestión del Ruido y Vibraciones
- Cumplimiento de Normativas Ambientales

4.1.4. Principales Procesos

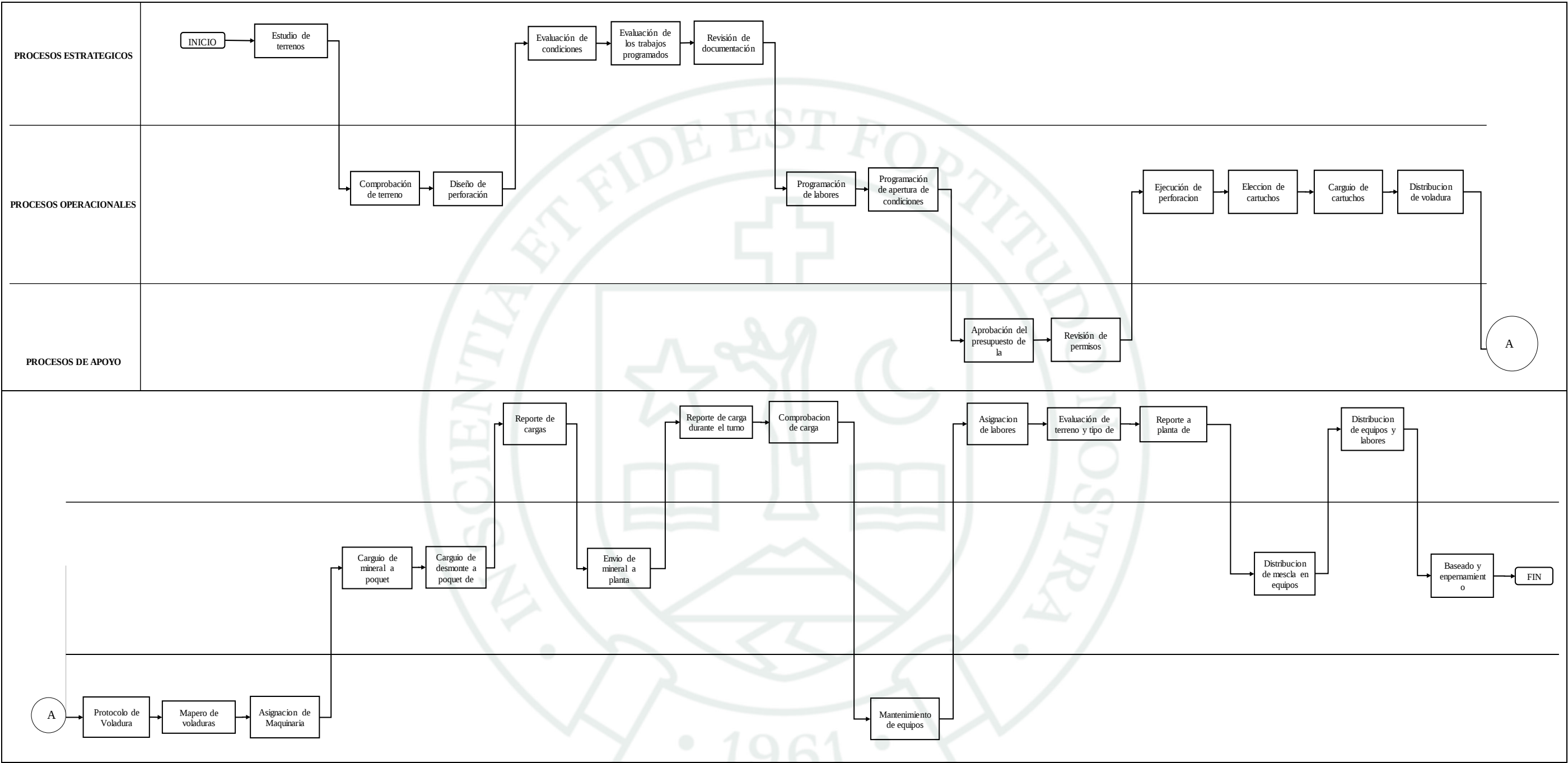
La unidad minera Chungar, la cual está en estudio cuenta con procesos estratégicos, operacionales y de apoyo. Procesos estratégicos, donde se encuentra el área de planeación estratégica y gestión de calidad). Seguidamente cuenta con procesos operacionales, donde se encuentran el área de gestión de perforación, gestión de voladura y gestión de limpieza y desguinche. Y por último los procesos de apoyo, donde se encuentra la gestión de seguridad y protocolos, gestión ambiental, gestión logística, gestión de costos y presupuestos, gestión de recursos humanos y gestión de equipos.

Figura 5
Mapa básico de procesos de la Unidad Minera Chungar



Nota. Mapa básico de procesos divididos en (estratégicos, operacionales, apoyo). Elaboración propia

Figura 6
Mapa detallado de procesos de la Unidad Minera Chungar



Nota. Mapa detallado de procesos divididos en (estratégicos, operacionales, apoyo). Nota. Elaboración propia

4.1.4.1. Procesos estratégicos

Están relacionados con la planificación de largo plazo y la toma de decisiones que afectan la viabilidad y eficiencia global de la operación minera.

a) Planeación Estratégica - Estudio Geo mecánico y Evaluación del Terreno

Objetivo: Determinar las propiedades geomecánicas de la roca y las características del terreno en la zona donde se llevará a cabo la voladura.

Actividades:

- Realización de estudios geofísicos y geotécnicos.
- Evaluación de la fuerza y resistencia de la roca.
- Determinación de las condiciones de fracturación y la homogeneidad del material.
- Diseño de las estrategias de excavación basadas en las características del terreno.

Resultado: Informes geo mecánicos que guiarán las decisiones sobre el método y la magnitud de las voladuras.

b) Planificación - Voladura

Objetivo: Establecer el diseño de las voladuras en base a los resultados de los estudios geo mecánicos y operacionales.

Actividades:

- Diseño del patrón de perforación (disposición de los taladros) y de la distribución de cargas explosivas.
- Selección de los explosivos adecuados según las características del terreno.
- Estimación del volumen de roca a fragmentar.
- Determinación de los resultados deseados de la voladura (tamaño de fragmentos, distribución, etc.).

Resultado: Plan de voladura detallado, con especificaciones sobre el tipo de explosivos, cantidad de carga, y parámetros de perforación.

c) Control de Calidad y Monitoreo

Objetivo: Asegurar que el proceso de voladura cumpla con los estándares establecidos de calidad y eficiencia.

Actividades:

- Monitoreo de las condiciones geomecánicas durante la perforación y la voladura.
- Medición de los resultados de la fragmentación (tamaño de los fragmentos).
- Uso de sensores sísmicos o dispositivos de monitoreo para detectar posibles fallas o movimientos de la roca.

Resultado: Información de calidad para ajustar futuras voladuras.

4.1.4.2. *Procesos Operacionales*

Son aquellos que se realizan en el día a día de la mina y son directamente responsables de la ejecución de la voladura.

a) Gestión de Perforación - Equipos

Objetivo: Realizar la perforación de los taladros en el terreno según el diseño establecido.

Actividades:

- Uso de perforadoras subterráneas para crear los taladros en las ubicaciones designadas.
- Control del diámetro, profundidad y ángulo de los taladros para asegurar el cumplimiento de las especificaciones.
- Monitoreo de la dirección y ubicación de cada taladro.

Resultado: Taladros perforados según el patrón y las especificaciones de la voladura.

b) Gestión de Perforación - Carga de Explosivos

Objetivo: Cargar los explosivos en los taladros de forma segura y eficiente.

Actividades:

- Carga manual o automática de los explosivos en los taladros perforados.
- Colocación de cordón detonante y detonadores en las posiciones adecuadas dentro de los taladros.
- Verificación de que la carga de explosivos cumple con el diseño y las normas de seguridad.

Resultado: Taladros cargados con explosivos y preparados para la detonación.

c) Gestión de Voladura

Objetivo: Realizar la detonación de los explosivos de manera controlada y en el momento adecuado.

Actividades:

- Activación de los detonadores de manera secuencial o de acuerdo con el patrón preestablecido, utilizando sistemas electrónicos o dispositivos de control remoto.
- Monitoreo de la presión, vibraciones y movimiento de la roca tras la detonación.

Resultado: Roca fragmentada de acuerdo con el diseño de la voladura

d) Gestión de Limpieza y Desguinche

Objetivo: Evaluar el resultado de la voladura y gestionar el material fragmentado.

Actividades:

- Inspección visual de los resultados de la fragmentación: tamaño, distribución y ubicación del material.
- Evaluación de la seguridad del área y de la estabilidad de las excavaciones cercanas.
- Uso de equipos de carguío para retirar el material fragmentado de la zona de la voladura.

Resultado: Material fragmentado y listo para ser transportado a la zona de procesamiento

4.1.4.3. Procesos de Apoyo

Los procesos de apoyo son aquellos que facilitan la correcta ejecución de las voladuras y garantizan que las actividades relacionadas con la voladura se lleven a cabo sin contratiempos

a) Mantenimiento de Equipos

Objetivo: Asegurar el buen funcionamiento de los equipos utilizados para el proceso de voladura.

Actividades:

- Mantenimiento preventivo de perforadoras, cargadoras y equipos de transporte.
- Revisión y ajuste de los sistemas de detonación y explosivos.
- Reparación y ajuste de equipos cuando sea necesario.

Resultado: Equipos operativos y en condiciones adecuadas para las voladuras.

b) Gestión de Recursos Humanos - Capacitación y Gestión del Personal

Objetivo: Asegurar que el personal esté capacitado y sea competente para realizar las tareas relacionadas con las voladuras de manera segura y eficiente.

Actividades:

- Capacitación continua sobre seguridad, manejo de explosivos y procedimientos de voladura.
- Evaluación del desempeño y entrenamiento especializado en el uso de tecnologías de voladura.

Resultado: Personal calificado y entrenado en las mejores prácticas de voladura subterránea.

c) Gestión Ambiental - Cumplimiento Normativo y Medioambiental

Objetivo: Garantizar que la voladura se realice cumpliendo con todas las regulaciones locales e internacionales en términos de seguridad y medioambiente.

Actividades:

- Cumplimiento de las normas de seguridad y de protección ambiental (control de polvo, gases y vibraciones).
- Implementación de procedimientos de mitigación de impactos ambientales.

Resultado: Voladuras realizadas dentro del marco legal y ambiental.

d) Gestión de Costos y Presupuesto

Objetivo: Establecer el costo total de las operaciones de voladura y asegurarse de que la actividad sea rentable.

Actividades:

- Cálculo de los costos asociados con los explosivos, perforación, y mano de obra.
- Análisis de la relación costo-beneficio de las voladuras.
- Desarrollo de un presupuesto a corto y largo plazo para las operaciones de voladura.

Resultado: Aprobación del presupuesto para las voladuras y control de costos.

e) Gestión de Seguridad y Protocolo - Seguridad Previo a la Voladura

Objetivo: Garantizar que todas las medidas de seguridad estén en su lugar antes de realizar la voladura.

Actividades:

- Evacuación de todo el personal de la zona afectada por la voladura.
- Inspección de las condiciones de seguridad, incluyendo sistemas de ventilación y control de gases.
- Verificación de que los sistemas de comunicación estén activos y que todos los involucrados en la voladura estén alineados con el protocolo de seguridad.

Resultado: Zona asegurada y personal evacuado antes de proceder con la detonación.

f) Gestión Logística

Objetivo: Garantizar que antes y durante el proceso se cuenten con los insumos necesarios para el proceso de voladura.

Actividades:

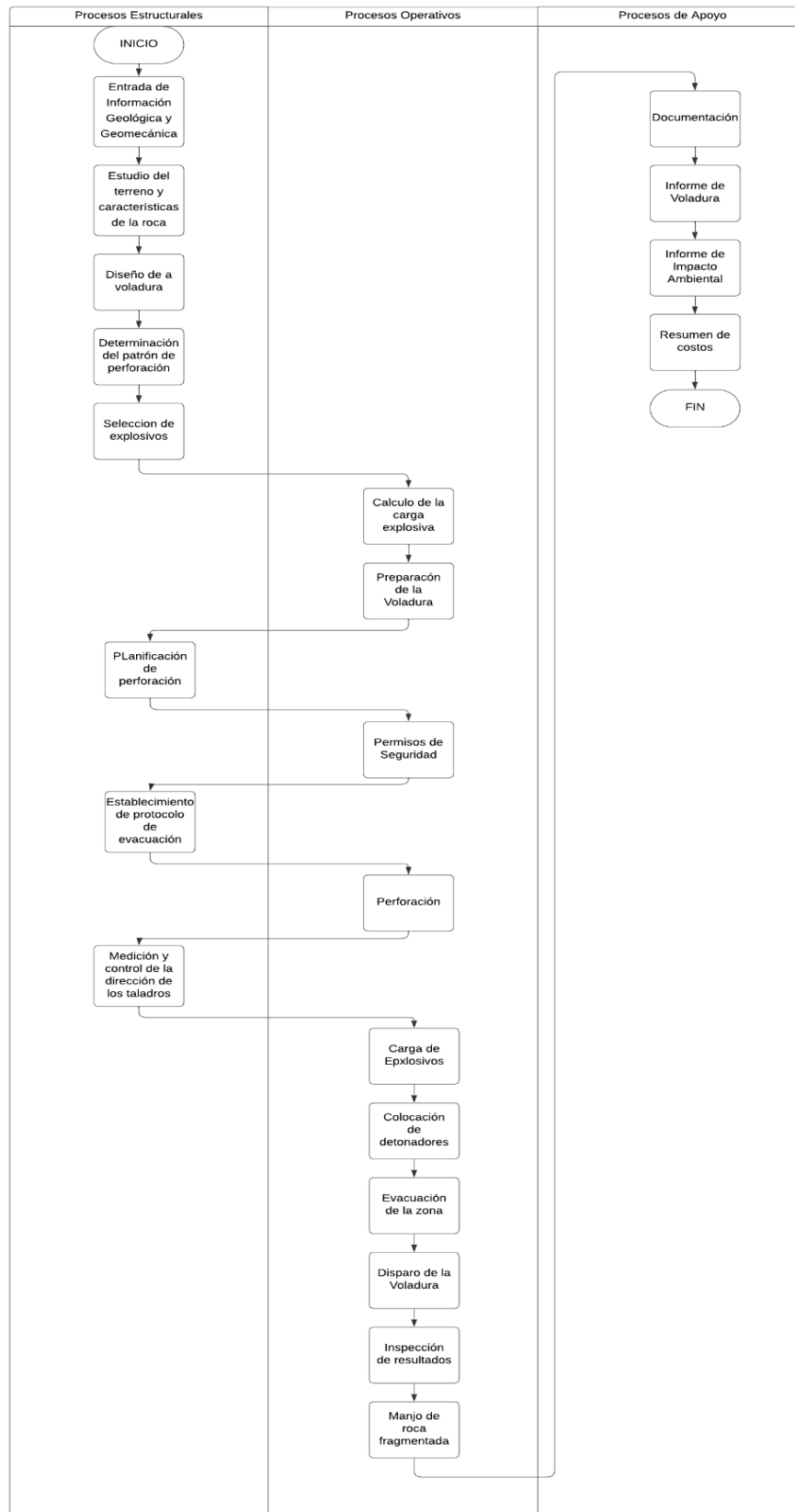
- Recepcionar y gestionar los vales de pedidos por parte de las áreas involucradas, de forma oportuna.
- Gestionar la llegada a tiempo de los insumos solicitados para el proceso, como: explosivo, implementos de seguridad, repuestos de compañía, conos, señales, etc.
- Comunicarse con contabilidad para la carga de facturas a las áreas correspondientes y actualización de los inventarios.

Resultado: Insumos requeridos lleguen a las áreas en el tiempo esperado y sin equivocaciones.

4.2. Proceso de Voladura

Con el fin de entender de forma integral y estructurada las etapas que conforman el proceso de voladura dentro de la unidad minera en estudio, se presenta a continuación un flujograma que detalla las actividades principales clasificadas en procesos estructurales, operativos y de apoyo. Este diagrama permite visualizar la secuencia lógica desde la recopilación de información geológica hasta la evaluación final del resultado de la voladura, permitiendo identificar oportunidades de mejora en cada fase. El flujograma facilita la comprensión del proceso completo, siendo útil tanto para el análisis técnico como para la posterior aplicación de herramientas Lean Mining. A través de esta representación gráfica se evidencian las interrelaciones entre las diferentes áreas responsables y se establecen los puntos críticos que podrían estar generando desperdicios, retrasos o deficiencias operativas.

Figura 7
Flujograma del proceso del proceso de voladura



Nota. Proceso de voladura de la unidad minera Chungar.Elaboración propia.

4.2.1. Áreas Involucradas

El proceso de voladura involucra a operadores de jumbo, personal de voladura, ingenieros de planeamiento, geomecánica, mantenimiento, logística e infraestructura. Aunque esta estructura multidisciplinaria debería permitir un alto control técnico, en la práctica se observa una falta de alineamiento entre responsabilidades, lo que provoca retrasos, duplicidad de tareas, ausencia de supervisión efectiva y errores de comunicación. La coordinación insuficiente se traduce en fallas operativas como uso inadecuado de insumos, falta de verificación del patrón de perforación, análisis post-voladura incompleto y errores al asignar equipos a las labores. Esto evidencia una necesidad urgente de implementar sistemas Lean Mining basados en gestión visual, reuniones operativas integradas y un flujo estandarizado de información entre áreas.

4.2.1.1. Geomecánica

- Estudio de geología estructural

Para comprender cómo se distribuyen las rocas y los minerales en la corteza terrestre. Identificar las fallas, pliegues, fracturas y otras estructuras geológicas ayuda a prever posibles problemas durante la extracción, como colapsos o deslizamientos, y a diseñar adecuadamente la mina subterránea

- Modelado geológico

Utilizando los datos obtenidos de las exploraciones y perforaciones, los geólogos crean modelos 3D de la mina. Esto les permite simular la disposición de los recursos y planificar de manera más eficiente la minería subterránea, optimizando la extracción y reduciendo riesgos

- Estudio de la estabilidad geotécnica

Evaluación de la resistencia de las rocas, la presencia de agua subterránea y otros factores que pueden afectar la seguridad de los túneles y las cámaras mineras.

- Asesoramiento en la extracción de mineral

Los geólogos asesoran al equipo de extracción sobre la forma más eficiente y segura de extraer los minerales. Esto implica la interpretación de las características del yacimiento y el diseño de las técnicas de minería que optimicen la recuperación del mineral.

4.2.1.2. Planeamiento

- Planificación y diseño de mina

Es responsable de diseñar la mina subterránea, considerando todos los factores que afectan la operación. Esto incluye la elección del método de extracción más adecuado (como minería por subniveles, minería por corte y relleno, minería por paneles largos, etc.) según las características del yacimiento y las condiciones geológicas. Además, se encargan de diseñar la infraestructura necesaria, como las galerías, túneles, chimeneas y accesos.

- Evaluación y optimización de recursos y reservas

Trabaja en estrecha colaboración con el departamento de geología para evaluar las reservas minerales disponibles en la mina. Utilizando modelos geológicos y geomecánicos, se determinan las cantidades exactas de mineral que se pueden extraer de manera rentable y segura. Esto implica realizar estimaciones de recursos y reservas a lo largo del tiempo, además de elaborar planes de explotación que maximicen el valor económico de los recursos mientras minimizan los riesgos geotécnicos.

- Elaboración de planes de producción

La creación de un plan de producción detallado que incluya metas de producción diaria, semanal y mensual, con un enfoque en la optimización de la extracción del mineral. Esto implica coordinar el número de equipos y operaciones necesarias para mantener la producción constante, así como identificar las prioridades de extracción en función de la calidad y cantidad del mineral.

- Gestión de tiempos y recursos

Garantizar que todos los recursos (humanos, materiales y maquinaria) estén disponibles en el momento adecuado para evitar retrasos en la operación. Esto implica la programación de trabajos subterráneos, la gestión de equipos mineros, la adquisición de materiales y la coordinación con otros departamentos como geología, geomecánica y seguridad.

- Gestión de ciclo de vida de la mina

Planificación de cierre de la mina una vez que se haya agotado el recurso mineral, asegurando que las actividades de cierre y restauración sean adecuadas para minimizar el impacto ambiental y restaurar el terreno de manera segura.

4.2.1.3. Costos y Presupuestos

- Elaboración y control del presupuesto

Estimación de los costos operativos (como mano de obra, maquinaria, mantenimiento, energía, transporte, etc.), los costos de capital (inversiones en equipos, infraestructura, etc.) y los costos administrativos. A través de un análisis detallado, el departamento establece un presupuesto de referencia que debe ser seguido durante el año para asegurar el cumplimiento de los objetivos financieros de la mina.

- Análisis financiero y rentabilidad

Realiza el cálculo de indicadores clave como el margen de ganancia, el coste por tonelada extraída y el beneficio neto. Además, el departamento se encarga de realizar estudios sobre el impacto de los costos en la rentabilidad de la mina y de establecer medidas para mejorar la eficiencia operativa y maximizar los márgenes de beneficio.

- Gestión del inventario

El control de inventarios de materiales (como explosivos, repuestos, equipos, herramientas y suministros) es una función clave dentro de la administración y costos. El departamento de administración debe garantizar que haya un equilibrio adecuado entre el inventario disponible y las necesidades operativas, evitando tanto el desabastecimiento como el exceso de inventario que podría generar costos innecesarios.

4.2.1.4. Gestión Ambiental

- Evaluación de Impactos Ambientales Previo a la Voladura

Antes de llevar a cabo cualquier voladura, el departamento ambiental debe realizar evaluaciones exhaustivas de los posibles impactos que esta actividad pueda tener en el medio ambiente. Algunas de sus funciones en esta fase incluyen:

- Estudio de Impacto Ambiental (EIA): Evaluación detallada de los efectos que las voladuras podrían generar en la flora, fauna, agua, aire y suelos circundantes. El EIA proporciona una base para la planificación de las voladuras, asegurando que se minimicen los efectos negativos.

- Identificación de riesgos: Identificación de riesgos potenciales relacionados con la voladura, como la liberación de gases tóxicos, contaminación por polvo o daños a ecosistemas cercanos. Este análisis permite establecer medidas correctivas antes de ejecutar la voladura.
- Análisis de la calidad del aire: Las voladuras pueden generar polvo y gases como dióxido de nitrógeno (NO₂) o monóxido de carbono (CO). El departamento ambiental debe analizar estos factores y proponer métodos para controlar la dispersión de contaminantes.
- Control de Polvo y Emisiones durante la Voladura.

Las voladuras subterráneas pueden generar grandes cantidades de polvo y otros contaminantes que tienen un impacto directo en la salud humana, animal y vegetal. Algunas funciones del departamento de asuntos ambientales durante la voladura son:

- Monitoreo de la calidad del aire: Medición continua de las concentraciones de polvo y gases en el área de trabajo antes, durante y después de la voladura para asegurar que los niveles de contaminantes no excedan los límites permitidos.
 - Implementación de sistemas de control de polvo: Uso de tecnologías como sistemas de rociado de agua, barreras de polvo o sistemas de ventilación adecuados para reducir la propagación del polvo generado durante la voladura.
 - Control de las emisiones: Aplicación de técnicas para reducir las emisiones de gases como el NO₂ y el CO. Esto incluye el monitoreo de las emisiones generadas por los explosivos utilizados.
 - Gestión del Ruido y Vibraciones
- Las voladuras generan vibraciones y ruidos que pueden tener impactos negativos tanto en la infraestructura de la mina como en el entorno circundante, incluidos asentamientos cercanos. El departamento de asuntos ambientales es responsable de:
- Monitoreo de vibraciones: Medición de las vibraciones inducidas por las voladuras y asegurarse de que no excedan los niveles permisibles para evitar daños en las estructuras cercanas (túneles, edificios, etc.) y minimizar el impacto sobre la fauna local.
 - Control de ruido: Evaluación y control del ruido producido durante las voladuras. En algunos casos, puede ser necesario realizar voladuras de forma controlada para reducir el ruido o realizar voladuras en horas específicas para evitar molestias.

- Cumplimiento de normativas: Garantizar que las actividades de voladura estén en conformidad con las normas locales e internacionales sobre límites de vibraciones y ruido.
- Cumplimiento de Normativas Ambientales

Uno de los roles principales del departamento ambiental es asegurarse de que la voladura cumpla con todas las leyes, regulaciones y normativas ambientales, que incluyen:

- Cumplimiento de leyes locales, nacionales e internacionales: Supervisar que las voladuras cumplan con la legislación ambiental relacionada con la minería subterránea, como la gestión de emisiones, residuos, calidad del agua y del aire.
- Obtención de permisos: Asegurarse de que se hayan obtenido los permisos ambientales necesarios antes de la voladura. Esto puede incluir permisos para el uso de explosivos, control de emisiones o la ejecución de actividades en áreas protegidas.
- Monitoreo y reporte: Realización de auditorías periódicas para verificar el cumplimiento de las normativas y la eficacia de las medidas de mitigación ambiental implementadas. Además, deben preparar y presentar informes de cumplimiento a las autoridades regulatorias.

4.2.2. Descripción del proceso de voladura

Aunque el proceso de voladura está correctamente descrito en etapas desde la perforación hasta la evacuación post-detonación, el diagnóstico revela que la ejecución real presenta brechas significativas respecto del diseño operativo. Se observan deficiencias como falta de control sobre la calidad de perforación, variabilidad en el patrón y la carga, incumplimiento en la documentación del proceso y ausencia de evaluaciones estructuradas de eficiencia. Además, el análisis posterior demuestra que la inspección post-voladura no se realiza con la profundidad necesaria, lo que impide identificar desviaciones recurrentes y aplicar mejoras sistemáticas. Como consecuencia, la eficiencia del disparo depende más de la experiencia individual del operador que de protocolos estandarizados, generando pérdidas económicas y desviaciones en el avance planificado.

4.2.2.1. Planificación y Diseño de la Voladura

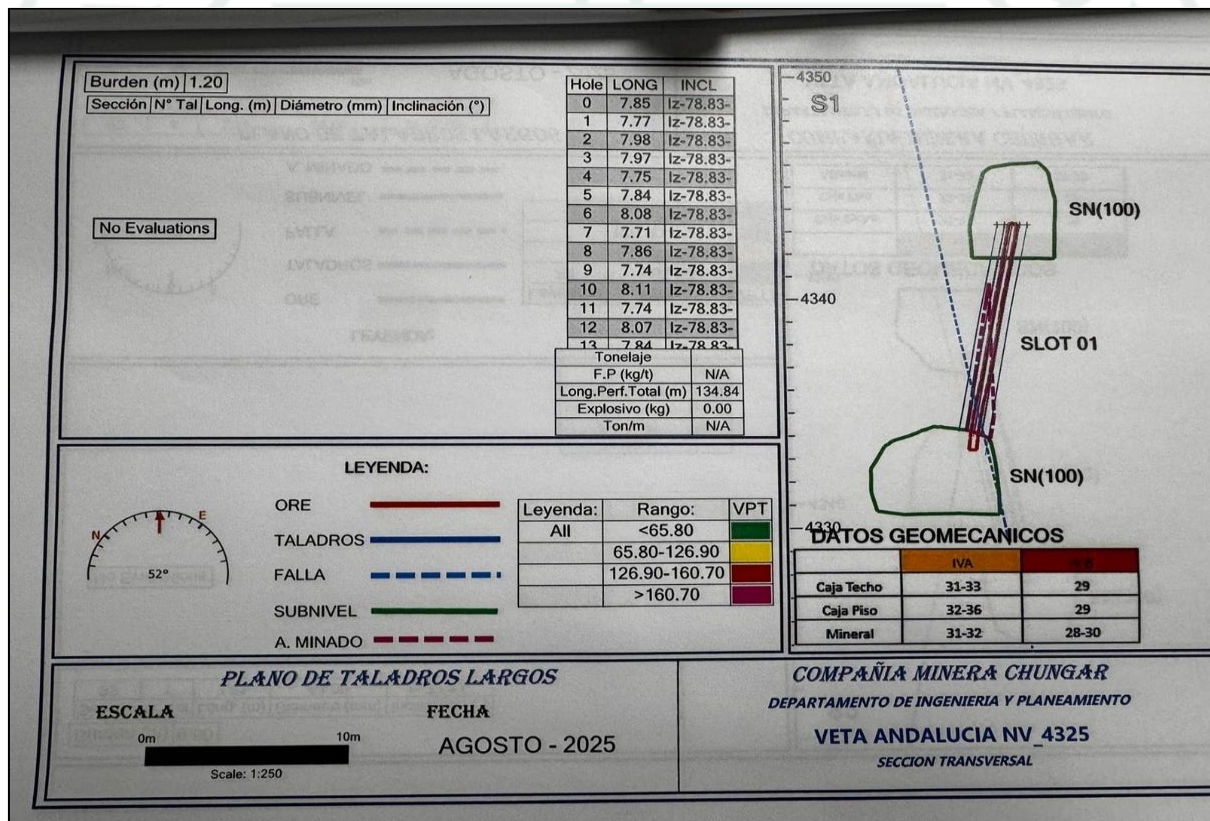
Estudio Geo mecánico: Antes de realizar una voladura, se debe llevar a cabo un análisis geo mecánico del terreno para conocer las características de la roca. Este estudio determinará la

selección de los métodos de voladura, los tipos de explosivos y las técnicas de perforación a emplear.

Diseño del Patrón de Perforación: Con base en las características geológicas y las necesidades operativas, se diseña el patrón de perforación (disposición y número de taladros), la profundidad y el diámetro de los agujeros, y la ubicación de los explosivos. Los patrones pueden ser de voladura radial, en abanico o en herringbone, entre otros.

Selección de Explosivos: Se seleccionan los explosivos adecuados según la dureza de la roca y el tamaño de la voladura. Los tipos más comunes de explosivos son los explosivos de emulsión y los explosivos a base de nitrato.

Figura 8
Programación de 1 voladura



Nota. Programación de 1 voladura, donde se muestra la probabilidad de fallo y lo real.

Cálculo de la Carga Explosiva: El cálculo de la carga explosiva necesaria se hace considerando el volumen de roca que se desea fragmentar, el tipo de roca y la energía requerida para la voladura.

4.2.2.2. Perforación de los Pozos

Uso de Perforadoras: Se emplean perforadoras subterráneas de diferentes tamaños y capacidades para perforar los taladros en las ubicaciones previamente diseñadas.

Control de la Dirección de los Taladros: Durante la perforación, es crucial asegurar que los taladros sigan el ángulo y la dirección deseada. Esto se puede realizar mediante perforadoras de control remoto y sistemas de posicionamiento.

Medición y Marcado: En algunos casos, los taladros se marcan y miden para asegurar que estén en las ubicaciones correctas.

4.2.2.3. Carga y Preparación de los Explosivos

Carga de Explosivos: Una vez perforados los taladros, se procede a cargar los explosivos en los mismos. Los explosivos se colocan cuidadosamente a lo largo de la longitud del taladro, a veces acompañados de cordón detonante y detonadores electrónicos o de retardo.

Colocación de los Detonadores: Los detonadores se colocan al final de los taladros, asegurando que la energía se libere de manera controlada y secuencial para evitar efectos no deseados, como las voladuras descontroladas.

Verificación de Carga: Se realiza una verificación de la carga explosiva, revisando que los taladros estén correctamente cargados y que no haya fallos.

4.2.2.4. Seguridad Previo a la Voladura

Evacuación de la Zona: Antes de proceder con la voladura, todo el personal debe ser evacuado de la zona de riesgo, siguiendo los protocolos de seguridad establecidos.

Verificación de las Condiciones de Seguridad: Se revisan las condiciones de seguridad en los túneles adyacentes, se aseguran los sistemas de ventilación y se verifica que no haya fugas de gas o acumulación de polvo.

4.2.2.5. Disparo de la Voladura

Activación del Sistema de Detonación: Una vez verificada la evacuación y la seguridad, se procede a activar el sistema de detonación. Esto puede realizarse a través de un sistema eléctrico (detonadores con corriente) o sistemas electrónicos (control remoto y retardos programados).

Control de la Secuencia de Detonación: La voladura se realiza de forma secuencial, con un retardo entre los detonadores para reducir la vibración y garantizar una fragmentación eficiente.

Detonación: Los explosivos se detonan, liberando una gran cantidad de energía que fragmenta la roca. Dependiendo del patrón y la carga, la voladura puede liberar grandes bloques de material o una fragmentación más fina.

4.2.2.6. Evaluación y Manejo de los Resultados

Inspección Post-Voladura: Después de la voladura, se realiza una inspección de la zona para evaluar la fragmentación de la roca, la estabilidad del túnel y posibles daños a la infraestructura.

Retiro de Material Fragmentado: Una vez que se haya determinado que es seguro, se retira el material fragmentado (roca volada) mediante cargadores y transporte subterráneo hacia las zonas de acopio o procesamiento.

Monitoreo de la Estabilidad: Se monitorea la estabilidad de las excavaciones cercanas para detectar posibles desplazamientos de rocas o fallas.

4.2.2.7. Registros y Reportes

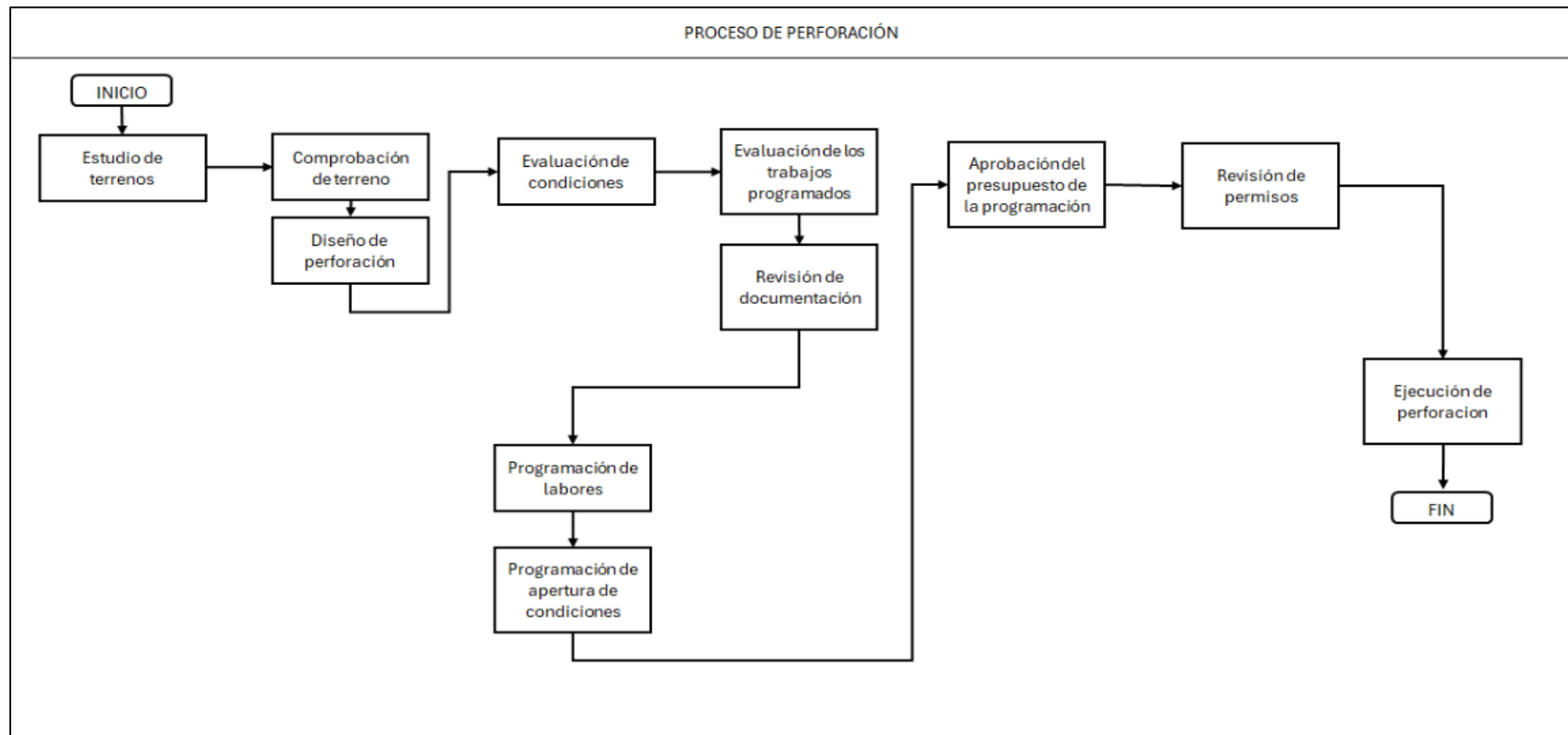
Informe de Voladura: Se documentan todos los detalles del proceso de voladura, incluidos los datos sobre la cantidad de explosivos utilizados, el patrón de perforación, los resultados obtenidos (fragmentación, desplazamiento de roca), y cualquier incidente o evento no previsto.

Evaluación de la Eficiencia: Se analiza la eficiencia de la voladura en términos de reducción de costos, fragmentación de la roca y tiempo de extracción, con el objetivo de mejorar en futuras voladuras.

En las siguientes figuras se muestran a detalle las fases del proceso de minado propios del proceso de voladura

Figura 9

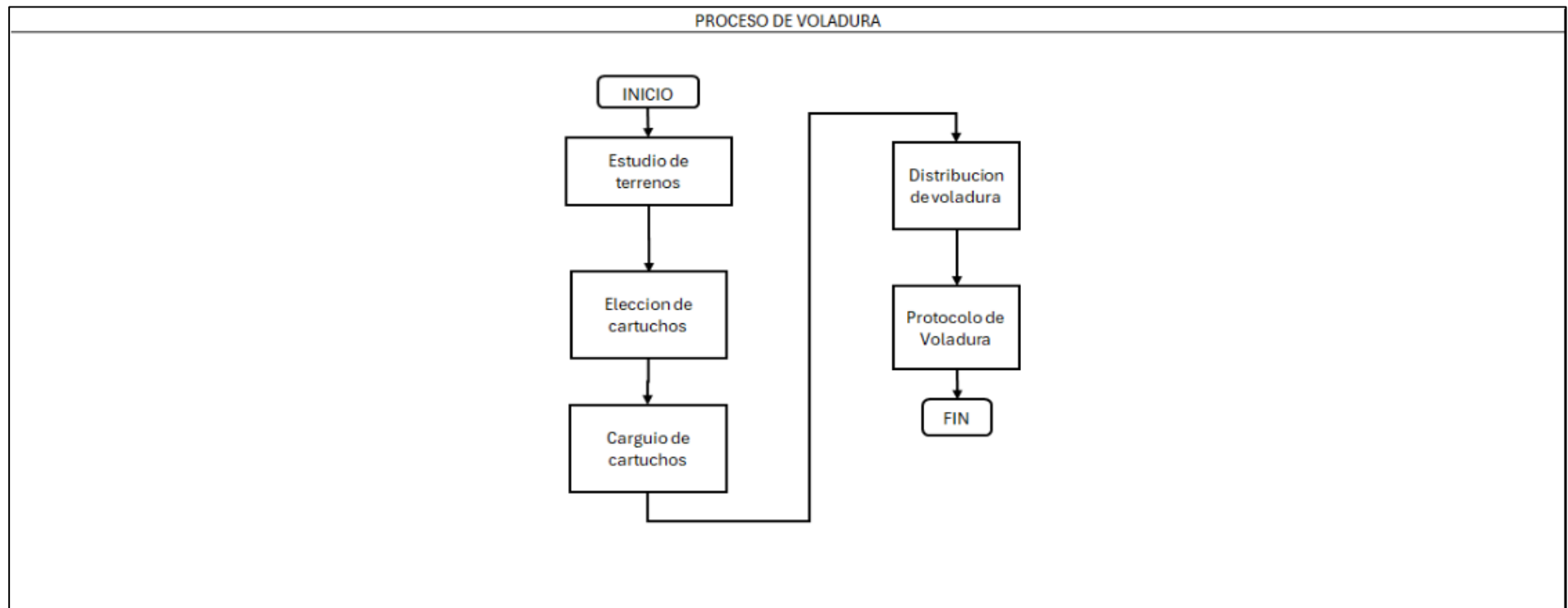
Flujograma del proceso de Perforación



Nota. Elaboración propia

Figura 10

Flujograma del proceso de Voladura

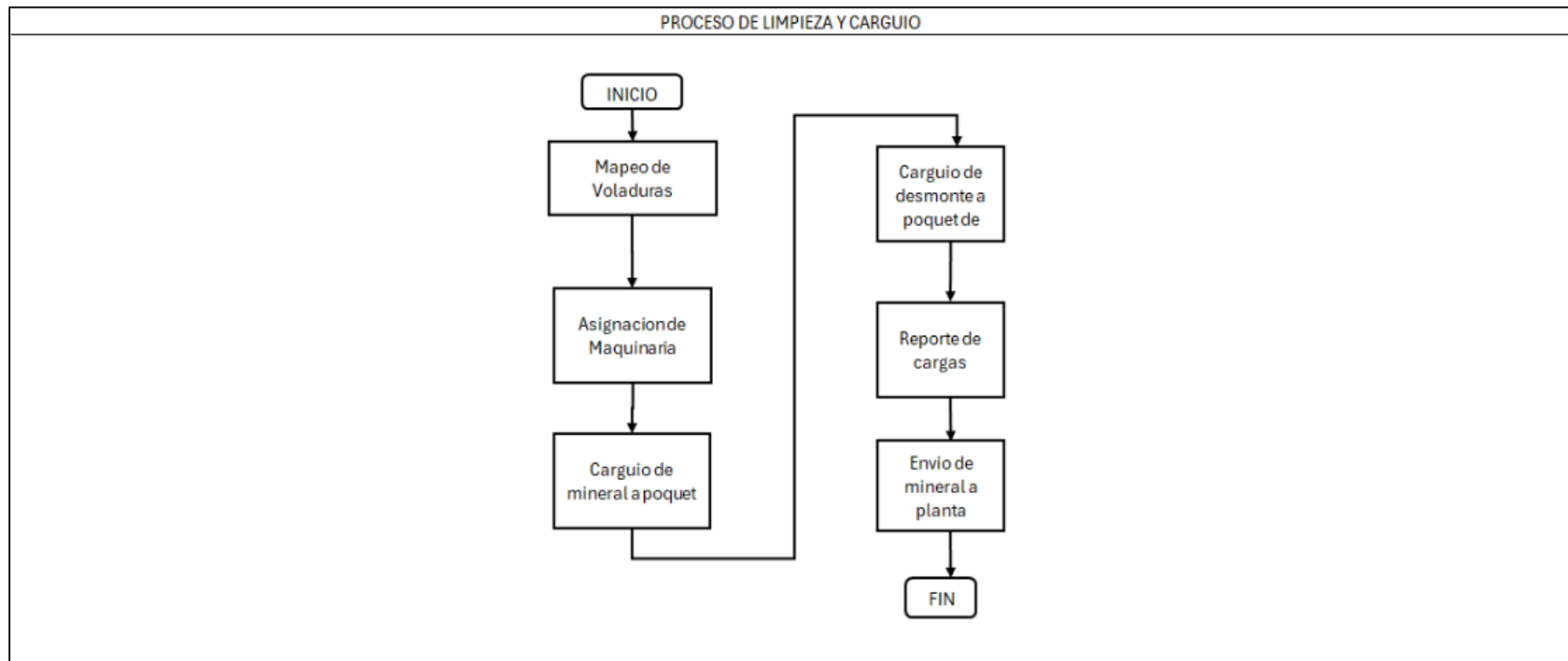


Nota. Elaboración propia



Figura 11

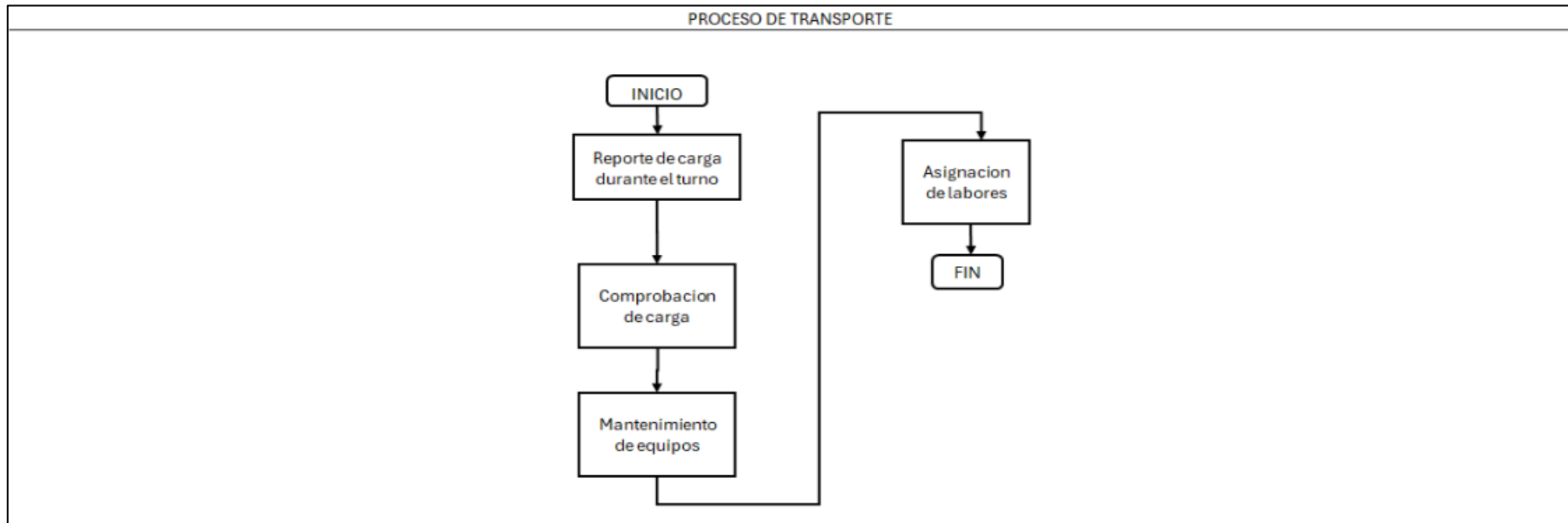
Flujograma del proceso de Limpieza y Carguío



Nota. Elaboración propia

Figura 12

Flujograma del proceso de Transporte

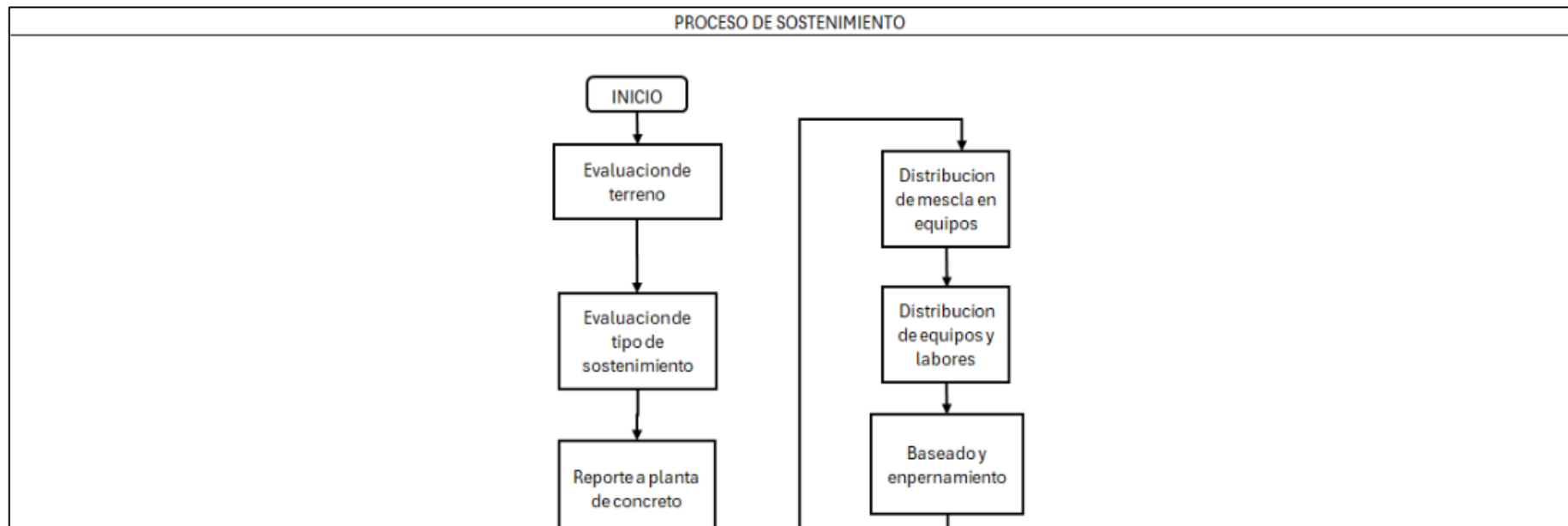


Nota. Elaboración propia



Figura 13

Flujograma del proceso de Sostenimiento



Nota. Elaboración propia

4.2.2.8. *Protocolo de voladura*

El proceso de protocolo de voladura empieza cuando los explosivos ya estén perforados por los jumbos, en cada estructura rocosa programada. Se inicia confirmando las labores programadas y cuales se ejecutarán, si no se ejecutan explicar el porqué. Seguidamente los trabajadores se retiran de la zona de minado, quedando 3 a 4 trabajadores para accionar el detonador. El proceso de voladura termina cuando estos comunican si la voladura fue exitosa y se procede a esperar 15 minutos para que las mangas ventiladoras absorba todo el dióxido de carbono de los túneles.

4.2.3. **Análisis FODA**

4.2.3.1. *Fortalezas*

- La empresa posee infraestructura minera consolidada con procesos claramente definidos.
- Cultura de seguridad establecida en operaciones (según la sección ambiental del documento).
- Uso de metodologías de mejora (Lean Mining) ya incorporada en la propuesta.
- Existencia de procesos de soporte como monitoreo ambiental y gestión de riesgos.
- Experiencia institucional en minería subterránea a gran escala.
- Capacidad de integrar datos operativos gracias a la estructura organizacional.
- Base técnica consolidada en el procesamiento del mineral, soporte clave para la voladura.
- Disponibilidad de información técnica geológica y mineralógica del yacimiento.

4.2.3.2. *Debilidades*

- Dependencia de contratistas en partes del proceso minero (indicado en antecedentes).
- Falta de estandarización detectada (justificación del uso de Lean Mining).
- Existencia de actividades con tiempo excedente que requieren optimización (Lean Mining lo evidencia).
- Procesos manuales sin gestión visual (por eso se propone Lean Mining).
- Necesidad de reducir movimientos innecesarios y tiempos improductivos.
- Documentación dispersa que requiere consolidación (observación en capítulos iniciales).

- Falta de integración completa entre áreas operativas.
- Modelo de trabajo tradicional que limita la eficiencia operativa.

4.2.3.3. Oportunidades

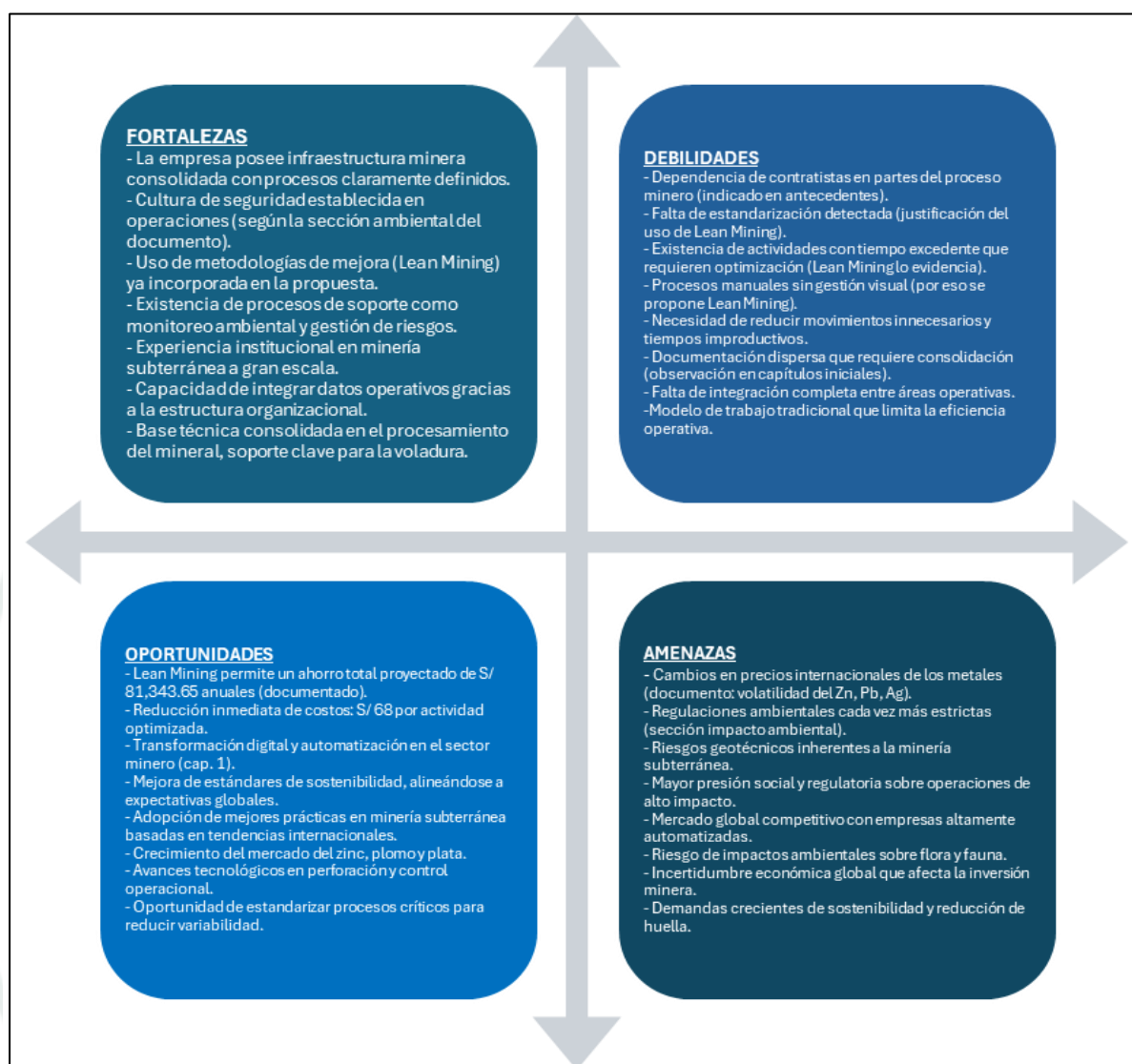
- Lean Mining permite un ahorro total proyectado de S/ 81,343.65 anuales (documentado).
- Transformación digital y automatización en el sector minero (cap. 1).
- Mejora de estándares de sostenibilidad, alineándose a expectativas globales.
- Adopción de mejores prácticas en minería subterránea basadas en tendencias internacionales.
- Crecimiento del mercado del zinc, plomo y plata.
- Avances tecnológicos en perforación y control operacional.
- Oportunidad de estandarizar procesos críticos para reducir variabilidad.

4.2.3.4. Amenazas

- Cambios en precios internacionales de los metales (documento: volatilidad del Zn, Pb, Ag).
- Regulaciones ambientales cada vez más estrictas (sección impacto ambiental).
- Riesgos geotécnicos inherentes a la minería subterránea.
- Mayor presión social y regulatoria sobre operaciones de alto impacto.
- Mercado global competitivo con empresas altamente automatizadas.
- Riesgo de impactos ambientales sobre flora y fauna.
- Incertidumbre económica global que afecta la inversión minera.
- Demandas crecientes de sostenibilidad y reducción de huella.

Figura 14

Matriz de Análisis FODA del proceso de voladura



Nota. Elaboración propia

4.2.4. Información cuantitativa del proceso de Voladura

El análisis económico demuestra que el costo por disparo varía significativamente entre los diferentes escenarios (S/ 3,039 a S/ 9,289), evidenciando una falta de estandarización de parámetros operativos. Esta variabilidad se debe a factores como número de taladros, longitud de perforación, tipo de detonadores, horas de uso del jumbo, mano de obra requerida y consumo de explosivos. La diferencia entre escenarios representa un riesgo operativo y financiero, ya que incrementa la incertidumbre en la proyección de costos mensuales y limita la planificación a largo plazo. Se concluye que la empresa requiere definir un round estándar basado en criterios

técnicos, con seguimiento permanente a los indicadores clave para reducir la variabilidad operativa y asegurar la predictibilidad del proceso.

En la tabla 2 se visualiza el promedio de disparos no ejecutados desde junio hasta septiembre del año 2024, considerando que la meta en el número de disparos por día es de 19 (este indicador fue establecido por la Gerencia General en base a un análisis previo en el año 2023), dando como la 1era causa con más del 20% es por falla de equipos en horario de trabajo, lo que ocasiona retrasos en el proceso. La 2da causa es por condiciones geográficas del terreno que dificultan el ingreso de equipos y ejecución como tal de voladura.

4.2.4.1. Reporte de voladuras (disparos) no ejecutados (jun 24 – set 24)

En la tabla 2 se visualizan las causas encontradas de los disparos no ejecutados durante el periodo de evaluación, donde la mayor causa es por problemas en los equipos (mantenimiento, fallas operativas).

Tabla 2
Causas de los disparos no ejecutados detalladas (Junio 24 – septiembre 24)

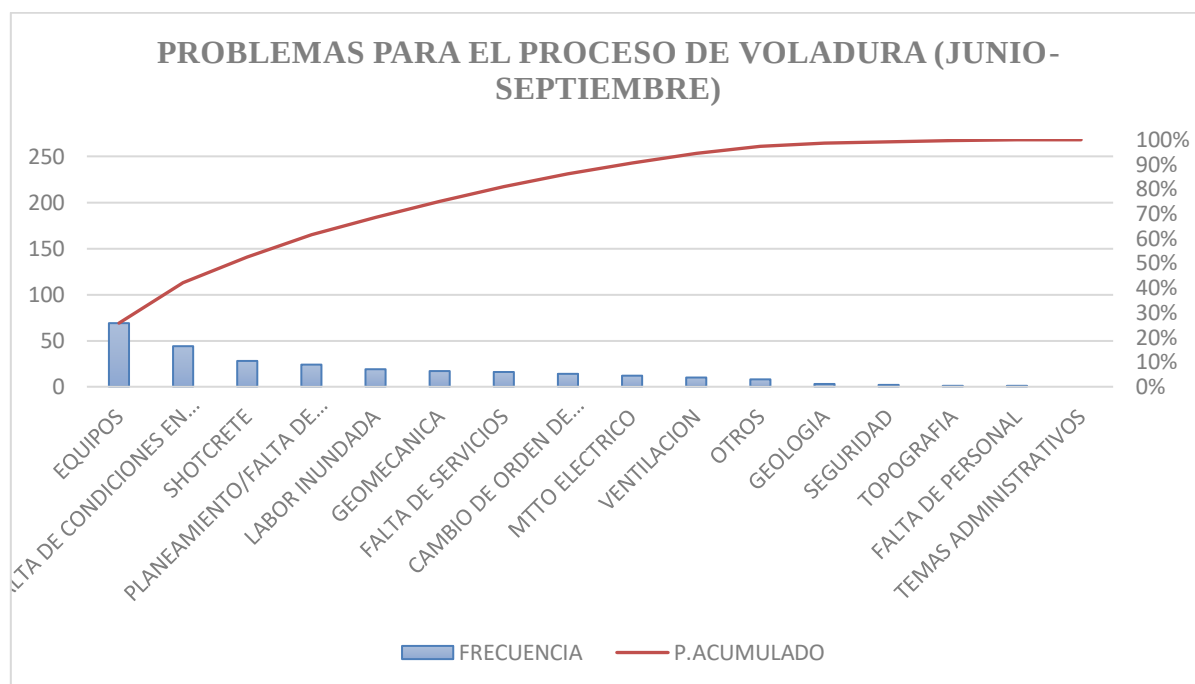
PARETO	PROBLEMA	FRECUENCIA
1	CAMBIO DE ORDEN DE TRABAJO	14
2	GEOMECANICA	17
3	GEOLOGIA	3
4	SEGURIDAD	2
5	MTTO ELECTRICO	12
6	TOPOGRAFIA	1
7	FALTA DE SERVICIOS	16
8	FALTA DE CONDICIONES EN LABOR	44
9	FALTA DE PERSONAL	1
10	EQUIPOS	69
11	SHOTCRETE	28
12	LABOR INUNDADA	19
13	TEMAS ADMINISTRATIVOS	0
14	OTROS	8
15	VENTILACION	10
16	PLANEAMIENTO Y FALTA DE REPORTE	24
TOTAL		268

Nota. Elaboración propia

En la figura 15 se visualizan algunas de las causas encontradas de los disparos no ejecutados en un diagrama de Pareto, durante el periodo de evaluación.

Figura 15

Pareto de causas identificadas de los disparos no ejecutados (jun 24-set 24)



Nota. Elaboración propia.

Para la presente propuesta se va a controlar las siguientes causas:

- Equipos
- Condiciones en labor
- Planeamiento/Falta de reporte
- Falta de servicios
- Cambio de orden de trabajo
- Mantenimiento eléctrico
- Ventilación

En la figura 16 se visualiza por día la cantidad de disparos realizados en el mes de junio del año 2024. Donde para poder llegar la meta se requiere realizar de 9 a 10 disparos entre los 2 turnos.

Tabla 3*Cuadro detallado de disparos no ejecutados en el mes de junio*

FECHA	TURNO	LABOR	CAUSAS DE DISPAROS NO EJECUTADOS	ENCARGADO
1-Jun	Noche	TJ-000-4025-VOFE-5-D	11-SHOTCRETE, DEMORAS EN EL LANZADO DE SHOTCRETE	AESA
1-Jun	Día	CA-3950-V3	10 - EQUIPOS: JUMBO 09 EN MANTENIMIENTO	AESA
4-Jun	Noche	RP-4000-VS22-1	14-OTROS, DEMORAS EN LA PERFORACIÓN	AESA
4-Jun	Día	CA-4050-NWC1-4	07-FALTA DE SERVICIOS, FALTA DE AGUA	CIA
4-Jun	Día	RP-4225-VET-1-D	10-EQUIPOS, DUM 220 INOPERATIVO, NO HUBO PASE	CIA
4-Jun	Día	TJ-000-4025-VOFE-5-D	11-SHOTCRETE, DESPRENDIMIENTO DE SHOTCRETE	AESA
6-Jun	Noche	SN-700-4000-VJAP-3-D	11 - SHOTCRETE: TIEMPO DE FRAGUADO, CULMINO DE SOSTENIMIENTO 00:55 HRS	AESA
6-Jun	Noche	TJ-000-4025-VOFE-5	08 - FALTA DE CONDICIONES: SHOTCRETE CRAQUELADO	CIA
6-Jun	Noche	CA-3950-V3-10	08 - FALTA DE CONDICIONES: POLITICA PARE POR FALTA DE BOMBA DE AVANCE	AESA
6-Jun	Día	SN-400-3975-VGIS-2-I	02-GEOMECAÁNICA, CAMBIO DE RECOMENDACIÓN A SOST PESADO	AESA
6-Jun	Día	TJ-000-4025-VOFE-5	01-CAMBIO DE ORDEN, DEMORAS OPERATIVAS	AESA
7-Jun	Día	SN-700-4000-VJAP-3-D	01-CAMBIO DE ORDEN, DEMORAS OPERATIVAS	AESA
9-Jun	Noche	SN-400-3975-VGIS-2-I	05 - MANTTO ELECTRICO: CORTE DE ENERGIA DESDE 21:15 HRS	CIA
9-Jun	Noche	SN-400-4000-VS22-1-I	10 - EQUIPOS: SCOOP 03 INOPERATIVO	AESA
9-Jun	Noche	AC-400-3950-V3-1	05 - MANTTO ELECTRICO: CORTE DE ENERGIA DESDE 21:15 HRS	CIA
9-Jun	Noche	SN-400-4025-VIES-1	05 - MANTTO ELECTRICO: CORTE DE ENERGIA DESDE 21:15 HRS	CIA
12-Jun	Día	TJ-200-4000-VPRI-3-I	10 - EQUIPOS, SCOOP 03 INOPERATIVO	AESA
12-Jun	Día	AC-600-4050-VSIA-1	11 - SHOTCRETE, DEMORAS EN LLEGADA ROBOT	CIA
13-Jun	Noche	PV-AC-300-3975-VOFE-4	02 - GEOMECAÁNICA, PARE POR REACOMODO DE TERRENO	CIA
13-Jun	Noche	SN-700-4000-VJAP-3-D	03 - GEOLOGIA, REALIZA DESQUINCHE POR RECOMENDACIÓN GEOLOGÍA	AESA
13-Jun	Día	TJ-200-4000-VPRI-3-I	11 - SHOTCRETE, DEMORAS EN LANZADO	CIA
13-Jun	Día	CA-3975-VJAP-2	10 - EQUIPOS, JUMBO 9 INOPERATIVO	AESA
15-Jun	Día	CA-3900-VPRI-6	11 - SHOTCRETE, DEMORAS EN LANZADO POR MIX 260 INOPERATIVO	CIA
15-Jun	Día	AC-600-4050-VSIA-1	10 - EQUIPOS, DEMORAS EN LIMPIEZA POR SCO-003 INOPERATIVO	CIA
16-Jun	Día	CA-4050-VNW2-11	12 - LABOR INUNDADA, EN PROCESO BOMBEO	CIA
16-Jun	Día	TJ-200-4000-VPRI-5-LI	11 - SHOTCRETE, LANZADO TARDÍO DE SHOTCRETE POR ROBOCON	AESA
16-Jun	Día	SN-500-3950-VGIS-3-D	07 - FALTA DE SERVICIOS, PENDIENTE LANZADO SHOTCRETE POR FALTA AIRE COMPRIMIDO	CIA
17-Jun	Noche	PV-AC-600-4075-VOF1	10 - EQUIPOS, SCALER 09 INOPERATIVO. DEMORA EN HABILITAR LA LABOR	AESA
17-Jun	Noche	TJ-000-4000-VPRI-2-I	07 - FALTA DE SERVICIOS, FALTA AIRE COMPRIMIDO, DEMORAS EN LANZADO SHOTCRETE	CIA
18-Jun	Noche	PV-AC-300-3975-VOFE-4	10 - EQUIPOS, SCA-11 INOPERATIVO, DESECHO MEZCLA	AESA
18-Jun	Día	PV-AC-300-3975-VOFE-4	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, DEMORAS OPERACIONALES AESA	CIA
18-Jun	Día	TJ-300-4025-VAND-2-D	01 - CAMBIO DE ORDEN DE TRABAJO, PRIORIZA SHOTCRETE AC-400-3975-GISE	CIA
19-Jun	Día	RP-4025-VAND-1	07 - FALTA DE SERVICIOS, BAJO CAUDAL AGUA, POR VÁLVULA ABIERTA EN CÁMARA COMBUSTIBLE	CIA
20-Jun	Día	SN-400-3950-V3-1-I	02 - GEOMECAÁNICA, CONDICIÓN ESTRUCTURAL RUSA HASTA DERECHO	CIA

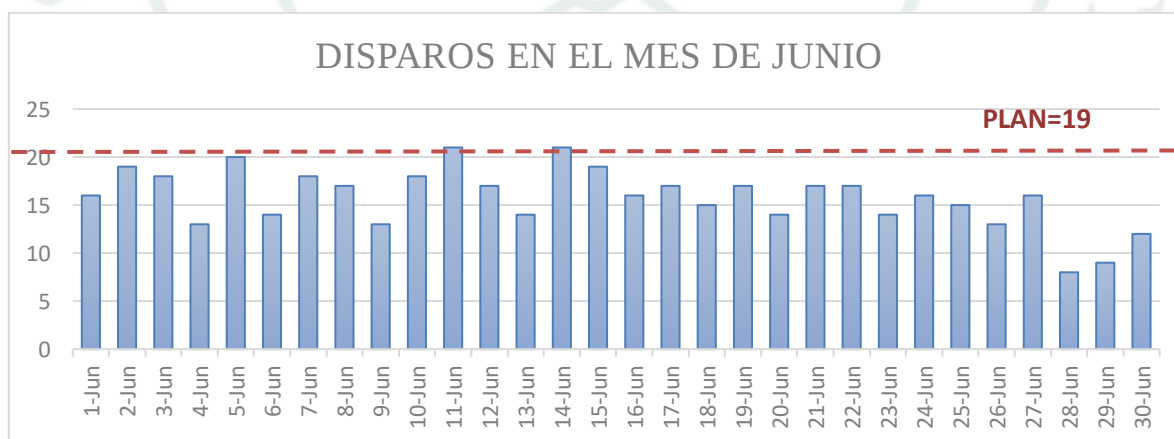
20-Jun	Día	CA-4225-VET-10	01 - CAMBIO DE ORDEN DE TRABAJO, PRIORIZA MIXER HACIA R.P INTEGRACIÓN	AESA
21-Jun	Día	TJ-100-3950-VOFE-1-D	11 - SHOTCRETE, FALTA SHOTCRETE SACRIFICIO, MALA UBICACIÓN	AESA
23-Jun	Noche	TJ-300-3975-VOFE-7-I	05 - MTTO ELECTRICO, DEMORAS EN INSTALACIÓN TABLERO DIFERENCIAL POR FALTA DE SOLICITUD EN GUARDIA ANTERIOR	AESA
25-Jun	Día	CA-3975-VJAP-23	08 - FALTA DE CONDICIONES: REQUIERE EMPLACADO DE CABLE BOLTING	AESA
26-Jun	Día	PV-AC-600-4075-VOF1	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE: DEMORA EN LANZADO, CULMINO DE SOSTENIMIENTO A LAS 14:50 HRS	AESA
26-Jun	Día	SN-400-3950-VGIS-3-I	02 - GEOMECÁNICA: CAMBIO DE RECOMENDACIÓN POR CONDICIÓN SUBESTANDAR	CIA
27-Jun	Día	SN-200-4000-VPRI-1-I	04 - SEGURIDAD, POLITICA PARE POR ALTA TEMPERATURA 31.9°C	CIA
28-Jun	Noche	SN-400-3950-V3-1-D	15 - VENTILACIÓN DEFICIENTE, PROBLEMAS DE T° ALTA Y CONCENTRACIÓN DE MONÓXIDO	CIA
28-Jun	Día	PV-AC-600-4075-VOF1	10 - EQUIPOS, JUMBO 04 INOPERATIVO	AESA
28-Jun	Día	XC-4000-VSIA-5	11 - SHOTCRETE: FALTA COMPLETAR SHOTCRETE, MALA UBICACIÓN	AESA
29-Jun	Día	TJ-200-3975-VOFE-7-D	05 - MTTO ELECTRICO: RETRASOS EN EL CICLO DE MINADO POR CORTE DE ENERGÍA	AESA
30-Jun	Día	PV-AC-000-4000-VPRI-1	01 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE: RETRASOS EN EL CICLO DE MINADO	AESA

Nota. Elaboración propia

Como se ve en la figura 16 y la tabla 3 no se llega a cumplir dicha meta en el mes de junio, faltando un 83% para llegar al objetivo, donde la 1era causa fue debido a que se lanzó tarde el shotcrete (el cual sirve para sostener las labores donde se van a realizar los trabajos), la 2da causa fue debido al sistema eléctrico defectuoso que afecto en el uso de equipos y condiciones de las labores (limpieza y ventilación).

Figura 16

Disparos ejecutados en el mes de junio



Nota. Elaboración propia

En la figura 17 se visualiza el promedio de disparos al día en el mes de julio del año 2024. Donde para poder llegar al promedio se requiere realizar de 9 a 10 disparos durante los 2 turnos.

Tabla 4*Cuadro detallado de disparos no ejecutados en el mes de julio*

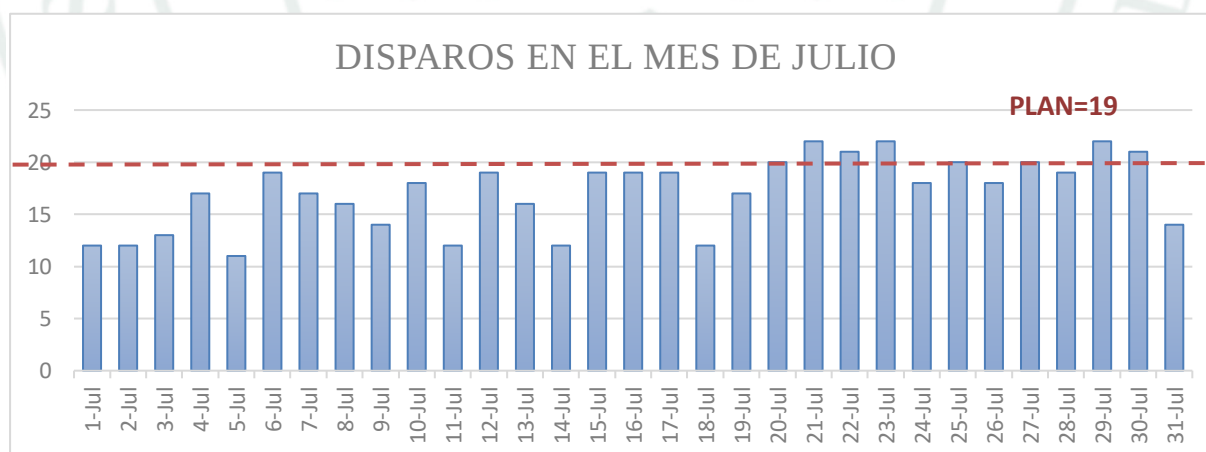
FECHA	TURNO	LABOR	CAUSAS DE DISPAROS NO EJECUTADOS	ENCARGADO
1-Jul	Noche	SN-200-4000-VPRI-1-I	11 FALTA COMPLETAR SHOTCRETE	AESA
1-Jul	Noche	SN-400-3950-V3-1	5-VENTILACIÓN, PARE POR TEMPERATURA ALTA	CIA
2-Jul	Noche	XC-3900-VPRI-1	10 - EQUIPOS: SCALER 14 INOPERATIVO	AESA
3-Jul	Noche	RP-3975-V3-1	05 - MTTO ELÉCTRICO: FALTA DE VENTILACIÓN Y TABLEROS ELÉCTRICOS	CIA
3-Jul	Día	RP-3975-V3-1	15 - VENTILACIÓN: PARE POR FALTA DE CAUDAL DE AIRE	CIA
4-Jul	Noche	TJ-300-3975-VOFE-7-I	03 - GEOLOGÍA: CARGA EN DESMONTE, LABOR PARALIZADA	CIA
4-Jul	Día	RP-4000-VS22-1	12 - LABOR INUNDADA POR CORTE ELÉCTRICO	CIA
5-Jul	Día	RP-3975-V3-1	15 - FALTA DE TRABAJOS DE HABILITACIÓN DE 2DO VENTILADOR	CIA
6-Jul	Día	TJ-300-4025-VAND-2-D	11 - SHOTCRETE: FALTA COMPLETAR SHOTCRETE, MALA UBICACIÓN	CIA
7-Jul	Noche	SN-400-3950-V3-1-D	08 - VENTILACIÓN: VENTILADOR TRIPADO	CIA
7-Jul	Día	SN-200-4000-VPRI-1-I	10 - SCOOP 09 INOPERATIVO, DEMORA EN LA HABILITACIÓN DEL FRENTE	AESA
9-Jul	Día	TJ-600-4075-VOF1-10	02 - GEOMECÁNICA, DESCAJE HASTIALES, CONDICIÓN ESTRUCTURAL	CE
9-Jul	Día	TJ-600-4075-VOF1-10-D	02 - GEOMECÁNICA, DESCAJE HASTIALES, CONDICIÓN ESTRUCTURAL	CE
10-Jul	Noche	TJ-300-4025-VAND-2-D	10 - EQUIPOS, DEMORAS POR SCOOP 03 INOPERATIVO	AESA
10-Jul	Día	AC-700-3975-VJAP-1	10 - EQUIPOS, DEMORAS POR SCOOP 03 INOPERATIVO	AESA
11-Jul	Noche	TJ-600-4075-VOF1-10-D	10 - EQUIPOS, DEMORAS POR SCOOP 3 INOPERATIVO	AESA
11-Jul	Día	AC-600-4050-VSIA-1	10 - EQUIPOS, DEMORAS POR SCOOP 12 INOPERATIVO	AESA
11-Jul	Día	TJ-300-3975-VOFE-7-I	10 - EQUIPOS, DEMORAS POR SCOOP 10 INOPERATIVO	AESA
13-Jul	Día	TJ-300-4025-VAND-2-I	07 - FALTA DE SERVICIOS, FALTA DE AGUA PARA PERFORACIÓN	CIA
14-Jul	Noche	SN-400-3950-V3-1	10 - EQUIPOS, VOLQUETE 11 ARC OBSTACULIZA VÍA	CIA
14-Jul	Noche	SN-400-3950-VGIS-3-I	10 - EQUIPOS, VOLQUETE 11 ARC OBSTACULIZA VÍA	CIA
14-Jul	Día	PV-AC-000-4025-VOFE-2	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, FALTA DE SEGMENTO A RUTA DE MIXER	AESA
14-Jul	Día	RP-3975-V3-1	02 - GEOMECÁNICA, COMPLETAR SHOTCRETE POR CAMBIO TERRENO	CIA
14-Jul	Día	TJ-200-4025-VAND-2-I	11 - SHOTCRETE, FALTA DE MIXER POR PRIORIDAD A LABORES CIA	CIA
16-Jul	Día	TJ-100-3950-VOFE-3	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, LANZADO DE SHOTCRETE 15:45	AESA
18-Jul	Noche	SN-200-4000-VPRI-1-I	10 - EQUIPOS, SCALER 9 INOPERATIVO	AESA
18-Jul	Noche	TJ-600-4075-VOF1-10-D	10 - EQUIPOS, SCALER 09 INOPERATIVO	AESA
18-Jul	Noche	TJ-600-4075-VOF1-10-I	10 - EQUIPOS, SCALER 09 INOPERATIVO	AESA
18-Jul	Noche	CA-3975-VS22-21	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, LABOR CON CARGA	AESA
18-Jul	Día	RP-3975-V3-1	12 - LABOR INUNDADA	AESA
18-Jul	Día	CA-4000-VSIA-24	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, DEMORAS EN LANZADO SHOTCRETE	AESA
19-Jul	Noche	SN-400-4050-VJES-1-D	10 - EQUIPOS, EMPERNADOR 10 INOPERATIVO	AESA
19-Jul	Día	TJ-000-4000-VPRI-3-D	08 - FALTA DE CONDICIONES, DESATE INEFICIENTE	AESA
21-Jul	Día	RP-3975-V3-1	08 - FALTA DE CONDICIONES, TRABAJOS DE VENTILACIÓN	CIA
21-Jul	Día	XC-3900-VPRI-1	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, DEMORAS EN EL CICLO DE MINADO	AESA
23-Jul	Día	AC-600-4000-VSIA-1	11 - SHOTCRETE, TIEMPO DE FRAGUADO, CULMINÓ DE LANZADO 14:50 HRS	AESA
24-Jul	Día	PV-AC-000-4025-VOFE-2	02 - GEOMECÁNICA, LABOR PARALIZA, REQUIERE COMPLETAR RELLENO HIDRÁULICO	CIA
24-Jul	Noche	CA-4025-VAND-28	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, FALTA DE SHOTCRETE POR MALA PROGRAMACIÓN DE AESA	AESA
24-Jul	Día	TJ-100-3950-VOFE-1-I	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, FALTA DE SHOTCRETE POR MALA PROGRAMACIÓN DE AESA	AESA
24-Jul	Día	SN-600-4050-VSIA-1-I	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE SE HABILITÓ LABOR A LA 1 PM	AESA
25-Jul	Día	RP-4025-VAND-1	10 - EQUIPOS, SCOOP 9 INOPERATIVO	AESA
25-Jul	Día	SN-200-4000-VPRI-1-I	11 - EQUIPOS, SCALER 11 INOPERATIVO	AESA

26-Jul	Día	SN-400-3950-VGIS-3-I	10 - EQUIPOS, ROBOT 67 INOPERATIVO DESDE 14:56	CIA
26-Jul	Día	CA-4000-VPRI-28	02 - GEOMECAÁNICA, SE DERIVA EL MIXER AL TJ-000-4000-I-VPRI POR INESTABILIDAD DE LABOR	CIA
27-Jul	Noche	CA-4225-VET-10	11 - SHOTCRETE, FALTA DE RECOMENDACIÓN GEOMECAÁNICA	AESA
27-Jul	Noche	CP-700-3975-VJAP-1	01 - MALA MANIPULACIÓN DE BOMBA SUMERGIBLE, DEMORA EN LA HABILITACIÓN DE LABOR	AESA
27-Jul	Día	TJ-000-4025-VOFE-2-C	08 - FALTA DE CONDICIONES, LABOR SOBRE EXCAVADA, SE REQUIEREN 02 MIXERS PARA LANZAR SHOTCRETE	AESA
28-Jul	Noche	SN-300-4025-VJES-1-I	08 - FALTA DE CONDICIONES, VOLADURA DEFICIENTE, SE REALIZA DESQUINCHE	AESA
28-Jul	Día	SN-200-4000-VPRI-1-I	10 - EQUIPOS, JUMBO 10 INOPERATIVO	AESA
28-Jul	Día	CA-4000-VPRI-28	10 - EQUIPOS, JUMBO 10 INOPERATIVO	AESA
30-Jul	Noche	RP-4000-VS22-1	05 - MTTO ELÉCTRICO, TRABAJOS MANTTO ELÉCTRICO Y BOMBEO	AESA
30-Jul	Día	PV-AC-600-4075-VOF1	01 - CAMBIO DE ORDEN DE TRABAJO, SE PRIORIZA EL SN-200-4000-VPRI, SE DIRECCIONA AL JUMBO	AESA
31-Jul	Noche	SN-600-4050-VSIA-1-D	07 - FALTA DE SERVICIOS, FALTA DE AGUA DESDE 3:45 - 04:30	CIA
31-Jul	Noche	SN-600-4050-VSIA-1-I	07 - FALTA DE SERVICIOS, FALTA DE AGUA DESDE 3:45 - 04:30	CIA
31-Jul	Día	TJ-200-3975-VOFE-7-D	10 - EQUIPOS, MIXER 287 INOPERATIVO, SE DERIVA EL SHOTCRETE	CIA
31-Jul	Día	TJ-200-3975-VOFE-7-D	08 - FALTA DE CONDICIONES, LABOR MAL PERFILADA, FALTA COMPLETAR SOSTENIMIENTO	AESA

Nota. Elaboración propia

Así como se ve en la figura 17 y en la tabla 4 no se llega a cumplir dicha meta en el caso de julio, faltando 55% (donde de los 31 días del presente mes se llegó a cumplir con la meta 14 días) para llegar a la meta, debido a que se realizaron mantenimientos reactivos a los equipos, lo que causo el retraso del ciclo del proceso.

Figura 17
Disparos ejecutados en el mes de julio



Nota. Elaboración propia.

En la figura 18 se visualiza el promedio de disparos al día en el mes de agosto del año 2024. Donde para poder llegar al promedio se requiere realizar de 9 a 10 disparos durante los 2 turnos.

Tabla 5*Cuadro detallado de disparos no ejecutados en el mes de agosto*

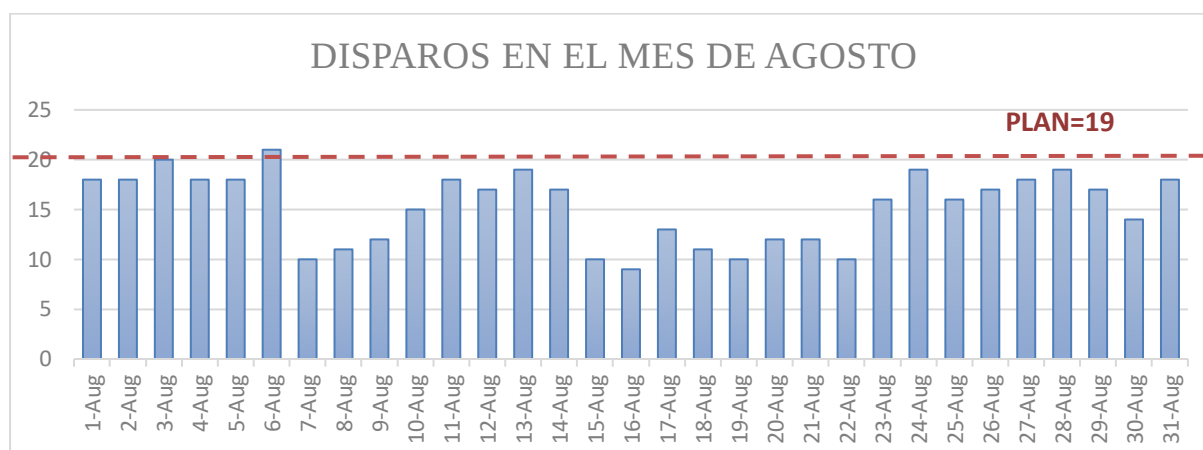
FECHA	TURNO	LABOR	CAUSAS DE DISPAROS NO EJECUTADOS	ENCARGADO
1-Ago	Noche	XC-3900-VPRI-2	09 - FALTA DE PERSONAL PARA SCALER	AESA
1-Ago	Día	RP-4000-VS22-1	08 - FALTA DE CONDICIÓN, VAN EN MAL ESTADO	AESA
1-Ago	Día	CP-700-3975-VJAP-1	12 - LABOR INUNDADA, TRABAJOS DE BOMBEO	CIA
1-Ago	Día	XC-3900-VPRI-2	11 - SHOTCRETE, TIEMPO DE FRAGUADO, CULMINÓ DE SOSTENIMIENTO 16:00 HRS	AESA
2-Ago	Día	CA-3975-VGIS-26	11 - DEMORAS EN LANZADO DE SHOTCRETE POR INCIDENTE ENTRE VOLQUETE Y CAMIONETA	CIA
2-Ago	Día	CA-400-4050-VJES-1	10 - EQUIPOS, VOLQUETE ARC-01 INOPERATIVO	CIA
3-Ago	Noche	RP-3975-V3-1	08 - FALTA DE CONDICIONES, CÁMARAS CON LODO EN RIEL POR FALTA VOLQUETE	CIA
3-Ago	Noche	CA-3975-VGIS-26	01 - CAMBIO DE ORDEN DE TRABAJO, PRIORIZA LABORES MINERAS	AESA
4-Ago	Noche	SN-200-4000-VPRI-1-I	11 - DEMORA EN LANZADO DE SHOTCRETE	AESA
4-Ago	Noche	CA-3975-VS22-21	10 - DEMORAS EN HABILITACIÓN POR FALTA DE VOLQUETES	CIA
4-Ago	Día	TJ-200-3975-VOFE-7-D	10 - EQUIPOS, DEMORAS EN LA COOPER, SCALER 11 INOPERATIVO	AESA
4-Ago	Día	TJ-000-4025-VOFE-2-D	11 - CAMBIO DEL TIRO DE SOSTENIMIENTO	CIA
5-Ago	Día	SN-400-3950-VGIS-3-I	11 - SHOTCRETE, DEMORA POR ROBOT 77 INOPERATIVO Y DERIVACIÓN A MIXER	CIA
6-Ago	Día	SN-400-3950-V3-1-D	10 - JUMBO 08 INOPERATIVO	AESA
7-Ago	Noche	PV-AC-100-4000-VPRI-1-0	16 - MALA PLANIFICACIÓN	AESA
7-Ago	Noche	AC-700-4000-VJAP-1	08 - FALTA DE CÁMARAS PARA CUMPLIR EL CICLO	CIA
7-Ago	Noche	TJ-600-4075-VOF1-10-D	10 - SCALER 14 INOPERATIVO	AESA
7-Ago	Día	TJ-600-4075-VOF1-10-D	15 - EXCESO DE MONÓXIDO EN LABOR, FALTA DE VENTILACIÓN	CIA
8-Ago	Noche	TJ-000-4025-VOFE-2-I	08 - CONDICIONES ESTRUCTURALES	CIA
8-Ago	Día	SN-700-4000-VJAP-3-D	07 - FALTA DE AGUA PARA PERFORACIÓN	CIA
8-Ago	Día	AC-600-4000-VSIA-2	14 - DEMORAS OPERATIVAS	AESA
8-Ago	Día	XC-3900-VPRI-2	08 - FALTA DE CÁMARAS PARA DESMONTE	CIA
8-Ago	Día	SN-300-4000-VPRI-2	07 - SE REQUIERE INSTALAR CABLE BOLTING	AESA
9-Ago	Noche	RP-4000-VS22-1	10 - SCOOP 12 INOPERATIVO	AESA
9-Ago	Día	TJ-000-4025-VOFE-2-D	02 - CONDICIÓN ESTRUCTURAL	AESA
10-Ago	Noche	PV-AC-100-4000-VPRI-1-0	07 - CORTE DE ENERGÍA	CIA
10-Ago	Noche	AC-300-4050-VAND-1	07 - CORTE DE ENERGÍA	CIA
10-Ago	Día	TJ-600-4075-VOF1-10-D	11 - FALTA COMPLETAR SHOTCRETE	AESA
10-Ago	Día	TJ-000-4025-VOFE-2-D	14 - DEMORAS OPERATIVAS	AESA
10-Ago	Día	SN-200-4050-VJAN	10 - MIXER INOPERATIVO	CIA
11-Ago	Día	AC-600-4000-VSIA-1	14 - DEMORAS OPERATIVAS	AESA
11-Ago	Día	CA-3975-VGIS-25	07 - FALTA DE PRESIÓN DE AGUA	CIA
11-Ago	Día	CA-3975-VJAP-26	14 - DEMORAS OPERATIVAS	AESA
12-Ago	Día	CA-4050-VAND-1	14 - DEMORAS OPERATIVAS	AESA
13-Ago	Noche	SN-400-3950-V3-1-D	04 - SEGURIDAD, PARE POR ACCIDENTE DE PERSONAL	AESA
14-Ago	Noche	SN-700-4000-VJAP-3-D	10 - EQUIPOS, SCOOP 11 INOPERATIVO	AESA
14-Ago	Noche	AC-300-4225-VET-1	06 - TOPOGRAFÍA, FALTA DE PUNTO DE CONTROL	AESA
15-Ago	Noche	RP-3975-V3-1	11 - SHOTCRETE, SOSTENIMIENTO TARDÍO POR VAE EN MAL ESTADO	AESA
15-Ago	Noche	TJ-600-4075-VOF1-10-D	08 - PARALIZADO POR ZONA INTANGIBLE	CIA
15-Ago	Noche	AC-400-4050-VJES-1	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, DEMORAS EN CICLO DE MINADO	AESA
15-Ago	Noche	SN-300-4000-VPRI-2	03 - GEOLOGÍA, LABOR EN DESMONTE, SEPARA RUTA	CIA
15-Ago	Día	SN-700-4000-VJAP-3-I	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, PROGRAMACIÓN INADECUADA	AESA

15-Ago	Día	SN-600-4050-VSIA-1-D	10 - EQUIPOS, EMPERNADOR 11 INOPERATIVO	AESA
15-Ago	Día	TJ-000-4025-VOFE-2-D	10 - EQUIPOS, EMPERNADOR 10 INOPERATIVO	AESA
16-Ago	Noche	CA-4025-VAND-22	08 - FALTA DE CONDICIONES, FALTA MOVER VENTILADOR	CIA
16-Ago	Noche	SN-600-4050-VSIA-1-D	08 - FALTA DE CONDICIONES, VOLADURA DEFICIENTE	AESA
16-Ago	Noche	SN-600-4050-VSIA-1-I	08 - FALTA DE CONDICIONES, PRIMER VENTILADOR APAGADO	CIA
16-Ago	Día	AC-300-4050-VAND-1	08 - FALTA DE CONDICIONES, TRABAJOS DE VENTILACIÓN	CIA
16-Ago	Día	CP-600-4000-VSIA-1	05 - MTTO ELÉCTRICO, CORTE DE ENERGÍA	CIA
17-Ago	Noche	SN-600-4000-VSIA-2-I	08 - FALTA DE CONDICIONES, VOLADURA DEFICIENTE	AESA
17-Ago	Día	TJ-000-4025-VOFE-2-D	02 - GEOMECÁNICA, CAMBIO DE RECOMENDACIÓN GEOMECÁNICA	CIA
18-Ago	Noche	SN-700-4000-VJAP-3-D	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, SE CULMINÓ SOSTENIMIENTO 03:40 HRS	AESA
18-Ago	Noche	SN-300-4000-VPRI-2	12 - LABOR INUNDADA, TRABAJOS DE BOMBEO	CIA
18-Ago	Noche	CA-3975-V3-1	10 - EQUIPOS, EMPERNADOR 10 INOPERATIVO	AESA
19-Ago	Noche	SN-700-4000-VJAP-3	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, DEMORAS OPERATIVAS	AESA
19-Ago	Noche	PV-AC-000-4000-VPRI-1	10 - EQUIPOS, EMPERNADOR 09 INOPERATIVO	AESA
19-Ago	Noche	SN-200-4050-VJAN	10 - EQUIPOS, EMPERNADOR 11 INOPERATIVO	AESA
19-Ago	Noche	SN-600-4000-VSIA-2-I	02 - GEOMECÁNICA, NO SE ACTUALIZA RECOMENDACIÓN	CIA
19-Ago	Día	PV-AC-000-4000-VPRI-1	08 - FALTA DE CONDICIONES, FALTA REPARAR TABLEROS ELÉCTRICOS	CIA
19-Ago	Día	SN-300-4065-VJAN	01 - CAMBIO DE ORDEN DE TRABAJO	CIA
20-Ago	Noche	PV-AC-000-4000-VPRI-1	05 - MTTO ELÉCTRICO	CIA
20-Ago	Noche	CP-300-4225-VGAB-1	10 - ROBOT 67 INOPERATIVO	CIA
20-Ago	Día	SN-700-4000-VJAP-3-D	10 - JUMBO 09 INOPERATIVO	AESA
20-Ago	Día	SN-700-4000-VJAP-3-I	10 - JUMBO 09 INOPERATIVO	AESA
20-Ago	Día	AC-400-4050-VES-1	02 CAMBIO DE RECOMENDACIÓN GEOMECÁNICA, SE REQUIERE LANZAR SHOTCRETE	CIA
20-Ago	Día	SN-300-4000-VPRE-2	08 LABOR CON CARGA	AESA
20-Ago	Día	SN-800-4000-VSIA-2-I	10 MIXER 275 INOPERATIVO, DEMORAS EN LANZADO DE SHOTCRETE	CIA
21-Ago	Noche	TJ-000-4025-VOFE-2-D	08 FALTA DE CONDICIONES DESPRENDIMIENTO DE SHOTCRETE, SE COMPLETA SOSTENIMIENTO 02:00 HRS	AESA
21-Ago	Noche	CA-3925-V3-1	10 EQUIPOS DEMORAS OPERATIVAS EN EL CICLO POR SCOOP INOPERATIVO	AESA
21-Ago	Noche	CA-4000-VAND-1	05 MTTO ELÉCTRICO: DEMORAS EN INSTALACIÓN ELÉCTRICA	CIA
21-Ago	Día	CA-4025-VAND-22	01 CAMBIO DE ORDEN DE TRABAJO: SE PRIORIZÓ PREPARACIÓN DE AC-300-4025-AND	AESA
22-Ago	Día	SN-700-4000-VJAP-3-I	15 FALTA DE VENTILACIÓN	CIA
22-Ago	Día	SN-400-4050-VJES-1-I	11 DEMORAS OPERATIVAS, RETRASOS EN LANZADO DE SHOTCRETE POR CAMBIO DE PUNTERA DE AIRE	AESA
22-Ago	Día	SN-800-4050-VSIA-1-D	14 DEMORAS OPERATIVAS, RETRASOS EN LIMPIEZA DE LABOR	AESA
22-Ago	Día	CP(300)-4225-VGAB-1	10 EMPERNADOR 13 INOPERATIVO, DEMORAS EN HABILITACIÓN DE LABOR	AESA
22-Ago	Día	SN-800-4000-VSIA-2-D	14 DEMORAS EN LIMPIEZA DE LABOR	AESA
23-Ago	Noche	AC-300-4025-VAND	08 FALTA DE CONDICIONES FALTA DE RECURSOS PARA EVACUACIÓN DE DESMONTE	CIA
23-Ago	Noche	SN-400-3950-V3-1	16 SE CAMBIÓ DE SOSTENIMIENTO CON MALLA ESTRUCTURAL, DEBIDO A QUE LA SECCIÓN NO FUE CONTROLADA	AESA
23-Ago	Día	TJ-000-4025-VOFE-3-I	05 MTTO ELÉCTRICO, REQUIERE ADELANTAR TABLERO DIFERENCIAL	AESA
23-Ago	Día	SN-700-4000-VJAP-3-I	12 LABOR INUNDADA, TRABAJOS DE BOMBEO, FALTA DE BOMBA	CIA

23-Ago	Día	CP-600-4000-VSIA-1	08 FALTA DE CONDICIONES REALCE DE LABOR	AESA
23-Ago	Día	SN-800-4000-VSIA-2-D	08 FALTA DE CONDICIONES REALCE DE LABOR	CIA
24-Ago	Noche	SN-700-4000-VJAP-3-I	12 LABOR INUNDADA HASTA 2 AM	CIA
24-Ago	Día	SN-300-4065-VJAN	10 EQUIPOS MIXER 287 INOPERATIVO EN LABOR	CIA
25-Ago	Noche	SN-300-4050-VAND-2-I	08 FALTA DE CONDICIONES RECARGA POR VOLADURA DEFICIENTE	AESA
25-Ago	Día	RP-3975-V3-1	07 FALTA INSTALAR CABLE BOLTING EN LABOR	AESA
25-Ago	Día	SN-400-3950-V3-1	08 REQUIERE RESANE	AESA
26-Ago	Noche	SN-700-4000-VJAP-3-D	07 FALTA DE SERVICIOS, FALTA DE AGUA	CIA
26-Ago	Noche	SN-800-4000-VSIA-2-D	15 FALTA VENTILACIÓN Y RELLENO DE VCR	CIA
27-Ago	Noche	CP-500-4050-CNW2-3	08 FALTA DE CONDICIONES PENDIENTE SOSTENIMIENTO CABLE BOLTING	CIA
27-Ago	Noche	SN-300-4050-VAND-2-D	10 EQUIPOS EMPERNADOR 09 INOPERATIVO	AESA
27-Ago	Día	SN-800-4000-VSIA-2-I	01 DEMORAS EN COMUNICACIÓN POR PARTE DE CIA PARA ATENCIÓN DE MTTO ELÉCTRICO	CIA
28-Ago	Noche	AC-300-4225-VET-1	08 FALTA DE CONDICIONES RETRASO EN INSTALACIÓN DE TABLERO ELÉCTRICO POR FALTA DE ALCAYATAS	AESA
29-Ago	Noche	SN-700-4000-VJAP-3-D	08 FALTA DE CONDICIONES DEMORA POR DESPRENDIMIENTO DE SHOTCRETE	CIA
30-Ago	Noche	SN-700-4000-VJAP-3-D	10 EQUIPO INOPERATIVO, JUMBO 09 INOPERATIVO (01:00–07:00)	AESA
30-Ago	Noche	RP-3975-V3-1	16 PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, RECARGA DE 05 TALADROS DE LA GUARDIA ANTERIOR	AESA
30-Ago	Noche	CP-300-4000-VS22	15 VENTILACIÓN, PROBLEMAS CON TEMPERATURA (34°)	CIA
30-Ago	Noche	XC-3975-VS22-1	10 EQUIPO INOPERATIVO, JUMBO 09 INOPERATIVO (01:00–07:00)	AESA
30-Ago	Día	CP-400-3975-VGIS-2	12 LABOR INUNDADA	CIA
30-Ago	Día	SN-800-4050-VSIA-1-I	16 PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, FALTA DE REFUGIO PARA ADELANTAR TABLERO	AESA
30-Ago	Día	XC-3975-VS22-1	12 LABOR INUNDADA POR FALTA DE CONTROL DE BOMBEO	AESA
31-Ago	Noche	CA-3900-VPRI-9	08 GEOMECÁNICA, PRIORIZA SHOTCRETE HACIA TJ 100-4000 POR CONDICIÓN ESTRUCTURAL (REALCE)	CIA
31-Ago	Día	SN-800-4050-VSIA-1-I	08 FALTA DE CONDICIONES, FALTA DE ESTÁNDAR EN REFUGIO PARA TABLERO	AESA
31-Ago	Día	CA-3975-VS22-25	08 FALTA DE CONDICIONES, MASA EN MAL ESTADO POR REBOSE, CA100 2 ETAPAS EN MANTENIMIENTO	CIA
31-Ago	Día	AC-300-4225-VET-1	10 EQUIPOS, JUMBO 8 EN MANTENIMIENTO	AESA

Nota. Elaboración propia

Así como se ve en la figura 18 y tabla 5 no siempre se llega a cumplir dicha meta en el caso de agosto, faltando un 81% para llegar a la meta, debido a que no se realizó una buena evaluación a las condiciones del terreno y se usó recursos en labores donde no se podía explorar debido a derrumbes e inundaciones.

Figura 18*Disparos ejecutados en el mes de agosto**Nota. Elaboración propia*

En la figura 19 se visualiza el promedio de disparos al día en el mes de septiembre del año 2024. Donde para poder llegar al promedio se requiere realizar de 9 a 10 disparos durante los 2 turnos.

Tabla 6*Cuadro detallado de disparos no ejecutados en el mes de septiembre*

FECHA	TURNO	LABOR	CAUSAS DE DISPAROS NO EJECUTADOS	ENCARGADO
1-Set	Día	CP-400-3975-VGIS-2	01 - CAMBIO DE ORDEN DE TRABAJO, REEVALUACIÓN DE PROYECTO POR GEOMECÁNICA	CIA
2-Set	Noche	SN-400-3950-V3-1-I	08 - FALTA DE CONDICIONES, PENDIENTE COMPLETAR SHOTCRETE POR FILTRACIÓN ALTA	AESA
2-Set	Día	TJ-100-4000-VPRI-3-D	12 - LABOR INUNDADA HASTA 14:00	CIA
2-Set	Día	SN-600-4000-VSIA-2-I	11 - FALTA DE CONDICIONES, DESPRENDIMIENTO DE SHOTCRETE SACRIFICIO	AESA
2-Set	Día	AC-000-4000-VPRI-1	10 - EQUIPOS, JUMBO 10 INOPERATIVO	AESA
3-Set	Noche	SN-600-4000-VSIA-2-I	10 - EQUIPOS, EMPERNADOR 11 INOPERATIVO	AESA
4-Set	Noche	AC-300-4225-VET-1	10 - EQUIPOS, EMPERNADOR 11 INOPERATIVO	AESA
4-Set	Noche	CP-500-4050-CNW2-3	07 - FALTA DE SERVICIOS, REPARACIÓN DE TUBERÍA DE AIRE, RETRASOS EN LANZADO DE SHOTCRETE	CIA
4-Set	Día	SN-700-4000-VJAP-3-D	08 - FALTA DE CONDICIONES, REALCE DE CORONA	CE
5-Set	Noche	SN-700-4000-VJAP-3-D	02 - CAMBIO DE RECOMENDACIÓN GEOMECÁNICA	CIA
5-Set	Día	SN-600-4000-VSIA-2-I	07 - FALTA DE SERVICIOS, DEMORAS POR FALTA PRESIÓN AGUA	CIA
6-Set	Noche	SN-600-4000-VSIA-2-I	10 - EQUIPOS, JUMBO 08 EN MANTENIMIENTO	AESA
6-Set	Día	XC-3925-V3-1	11 - SHOTCRETE, DEMORAS POR LLEGADA TARDÍA ROBOT 76	CIA
7-Set	Noche	AC-200-4050-VJAN-1	10 - EQUIPOS, EMPERNADOR 12 INOPERATIVO	AESA
7-Set	Día	AC-000-4000-VPRI-1	10 - EQUIPOS, EMPERNADOR 12 Y 13 INOPERATIVOS	AESA
8-Set	Noche	AC-500-3975-GISE-2	10 - EQUIPOS, DEMORAS EN EL CICLO POR SCOOP 10 INOPERATIVO DESDE 23:20 HRS	AESA

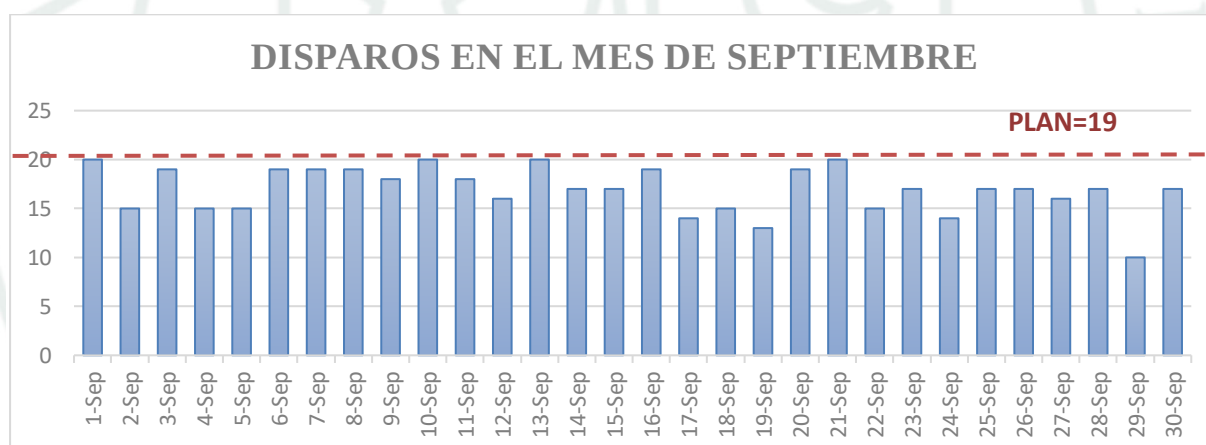
11-Set	Noche	TJ-000-4000-VPRI-2-D	10 - EQUIPO INOPERATIVO, EMPERNADOR 13 INOPERATIVO (03:05 - ROTURA DE CABLE DE RETORNO)	AESA
11-Set	Día	SN-800-4000-VJAP-3-D	10 - DEMORAS EN EL DESATE POR SCALER 11 INOPERATIVO	AESA
11-Set	Día	SN-600-4050-VSIA-1-I	10 - DEMORAS EN EL DESATE POR SCALER 11 Y 14 INOPERATIVOS	AESA
11-Set	Día	SN-200-4050-VJAN-1-D	10 - DEMORAS EN EL DESATE POR SCALER 11 Y 14 INOPERATIVOS	AESA
12-Set	Día	SN-800-4000-VJAP-3-D	10 - JUMBO 08 INOPERATIVO 03:30 - 04:00, TRABAJA CON DEFICIENCIAS	AESA
12-Set	Día	PV-AC-000-4025-VOFE-3	10 - DEMORAS EN EL SOSTENIMIENTO POR MIXER INOPERATIVO	CIA
12-Set	Día	AC(200)3900-VPRI	11 - DEMORAS EN CICLO DE MINADO POR VOLQUETES	CIA
13-Set	Noche	RP-4050-VNW2-1	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, FALTA DE OPERADOR PARA EQUIPO	AESA
14-Set	Noche	SN-600-4000-VSIA-2-I	01 - CAMBIO DE ORDEN DE TRABAJO, SE DERIVA EL SHOTCRETE POR PRIORIDAD EN LA SECUENCIA	AESA
14-Set	Noche	SN-600-4000-VSIA-1-I	12 - LABOR INUNDADA	CIA
14-Set	Día	SN-200-4050-VJAN-1	10 - EQUIPOS, SCOOP 11 TRABAJA CON DEFICIENCIAS	AESA
15-Set	Noche	SN-200-4050-VJAN-1	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, CULMINA RASPADO PARA SHOTCRETE 02:30 AM	AESA
15-Set	Día	AC-4000-VPRI-3-I	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, DEMORAS POR CAPACITACIÓN PERSONAL	AESA - CIA
16-Set	Noche	RP-4050-VNW2-1	12 - LABOR INUNDADA	CIA
16-Set	Noche	SN-600-4000-VSIA-2-D	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, DEFECTUOSA COORDINACIÓN PARA CHISEO	AESA
17-Set	Noche	SN-300-4225-VET-1-D	10 - EQUIPOS, SCOOP 13 INOPERATIVO	AESA
17-Set	Noche	SN-400-4050-VSIA-1-I	08 - FALTA DE CONDICIONES, REALIZA DESQUINCHES POR FALTA SECCIÓN	AESA
17-Set	Día	SN-600-4000-VSIA-2-D	10 - EQUIPOS, DEMORAS JUMBO 07 INOPERATIVO HASTA 14:00	AESA
17-Set	Día	CA-3950-V3-1	16 - PLANIFICACIÓN DEFICIENTE, COMUNICACIÓN DEFICIENTE ENTRE JEFES DE GUARDIA	AESA
18-Set	Noche	SN-600-4000-VSIA-2-I	08 - FALTA DE CONDICIONES, DESPRENDIMIENTO SHOTCRETE EN CORONA	AESA - CIA
18-Set	Día	SN-600-4000-VSIA-2-D	15 - VENTILACIÓN, FALTA SOPORTE CON UTILITARIO PARA TRABAJOS VENTILACIÓN	AESA
18-Set	Día	AC-200-4050-VJAN-3	11 - SHOTCRETE, DEMORAS EN LANZADO DE SHOTCRETE POR PARTE ROBOCON	CIA
19-Set	Noche	AC(200)3900-VPRI	08 - FALTA DE CONDICIONES, LABOR CON CARGA POR FALTA DE VOLQUETES	CIA
19-Set	Noche	SN-400-4050-VSIA-1	11 - SHOTCRETE, COMPLETA SHOTCRETE POR FALTA ESPESOR	AESA
19-Set	Día	AC-500-3975-GISE-2	08 - FALTA DE CONDICIONES, NO SE ENVÍO VOLQUETES PARA LIMPIAR DESMONTE	CIA
19-Set	Día	AC-200-4000-VPRI-1	08 - FALTA DE CONDICIONES, REALIZA DESQUINCHES POR DISPARO DEFICIENTE GUARDIA ANTERIOR	AESA
19-Set	Día	XC-3975-VS22-1	12 - LABOR INUNDADA, DEMORAS JUMBO POR SN-400-4050-JAN INUNDADO	AESA
20-Set	Día	CA-3925-V3-1	08 - FALTA DE CONDICIONES, DEMORAS POR EMPLACADO SN-000-4025-OFE HASTA 15:15	CIA
22-Set	Noche	RP-4050-VNW2-1	12 - LABOR INUNDADA, BOMBA INOPERATIVA AFROMINC	CIA
22-Set	Día	SN-000-4025-VOFE-3-D	02 - GEOMECÁNICA, PARALIZADO, FALTA RELLENO HIDRÁULICO	CIA
22-Set	Día	SN-000-4025-VOFE-3-I	02 - GEOMECÁNICA, PARALIZADO, FALTA RELLENO HIDRÁULICO	CIA
23-Set	Noche	AC-200-4000-VPRI-1	08 - FALTA DE CONDICIONES, RETRASOS EN LIMPIEZA POR CÁMARAS REPLETAS, SCOOP 4 Y D INOPERATIVO	AESA
23-Set	Día	RP-4050-VNW2-1	05 - MANTTO ELÉCTRICO, LABOR INUNDADA POR TABLERO TRIPEADO	CIA
24-Set	Noche	TJ-000-4000-VPRI-4E-D	10 - EQUIPOS, JUMBO 11 INOPERATIVO DESDE 03:30 HRS	AESA
24-Set	Noche	SN-500-3950-VGIS-3-E-D	02 - GEOMECÁNICA, FALTA DE CONDICIONES, TERRENO INESTABLE (REALCE)	CIA
24-Set	Día	SN-300-4050-VAND-2-I	15 - VENTILACIÓN, FLUJO DEFICIENTE	CIA

24-Set	Día	SN-200-4050-VJAN-3-D	08 - DEMORAS POR PRIORIDAD SHOTCRETE SN-600-4000-2-1 POR REALCE	CE
26-Set	Noche	CA-3950-V3-1	12 - REBOSE RELLENO HIDRÁULICO, DEFICIENTE PLANIFICACIÓN POR PARTE SUPERVISIÓN	AESA
27-Set	Noche	SN-600-4000-VSIA-2-I	16 - VOLADURA DEFICIENTE, SE REALIZA DESQUINCHE POR FALTA SECCIÓN	AESA
27-Set	Noche	TJ-000-4000-VPRI-4E-D	10 - EQUIPO EMPERNADOR 10 INOPERATIVO	AESA
27-Set	Noche	AC-400-4075-VJES-2	10 - EQUIPO EMPERNADOR 13 INOPERATIVO	AESA
27-Set	Noche	CP-500-3975-VS22-1	12 - LABOR INUNDADA, REBOSE POZA 10	CIA
28-Set	Día	AC(200)3900-VPRI	12 - LABOR INUNDADA, EVIDENCIA BOMBA APAGADA	AESA
28-Set	Día	CP-500-3975-VS22-1	12 - LABOR INUNDADA HASTA 11:40 AM	CIA
30-Set	Día	SN-600-4000-VSIA-1-I	12 - LABOR INUNDADA, TRABAJOS DE BOMBEO	CIA

Nota. Elaboración propia

Así como se ve en la figura 19 y en la tabla 6 no se llega a cumplir dicha meta en el caso de septiembre faltando un 67% para llegar a la meta, debido a que se realizaron mantenimientos reactivos a los equipos, lo que causo el retraso del ciclo del proceso.

Figura 19
Disparos ejecutados en el mes de septiembre



Nota. Elaboración propia.

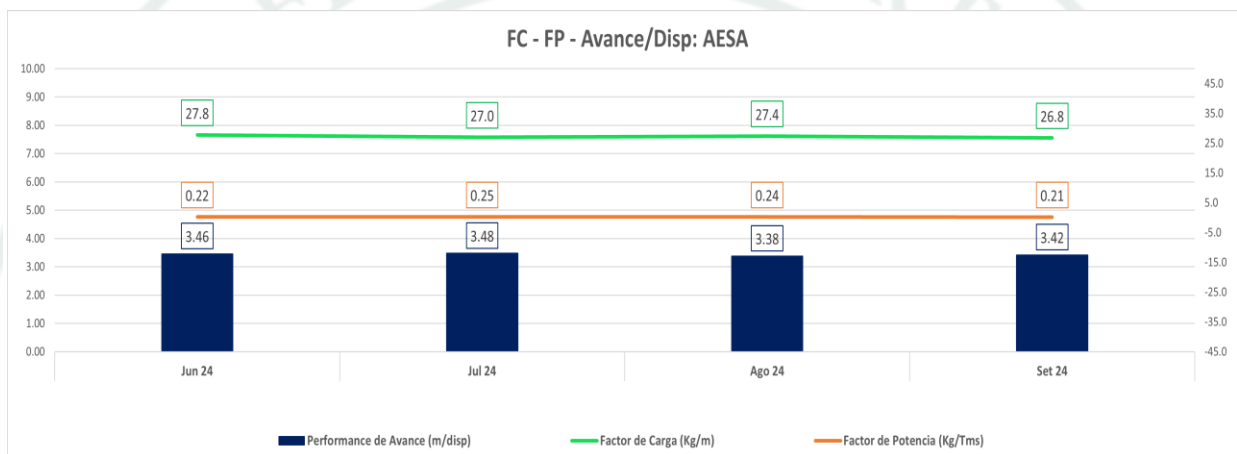
4.2.4.2. KPIs mensuales de avance de voladura

Así como se planteó como meta la cantidad de disparos diarios (19 disparos), se establece como meta un metraje de avance de voladura por día, donde el Performance de Avance (Eficiencia) que mide la cantidad de metros detonados por disparo es 3.5 m/disp, el Factor de Carga mide la cantidad de kilogramos de roca fragmentada por metro avanzado que es 26 kg/m. Y por último el Factor Potencia que mide los kilogramos de roca fragmentada por toneladas de mineral que es 0.28 kg/ton.

4.2.4.2.1. Contrata de excavación - AESA.

En la figura 20 se puede observar el promedio de los 3 KPI's anteriormente mencionados en la contrata Aesa, donde el mes que está cerca de la meta deseada de Performance de Avance es el mes de Julio con 3.48 m/disp, seguidamente el Factor Carga es el mes de septiembre con 26.8 kg/m y finalmente el mes que tiene mayor Factor Potencia es el mes de Julio con 0.25 kg/ton.

Figura 20
KPI's Avance – Factor Carga – Factor Potencia de AESA



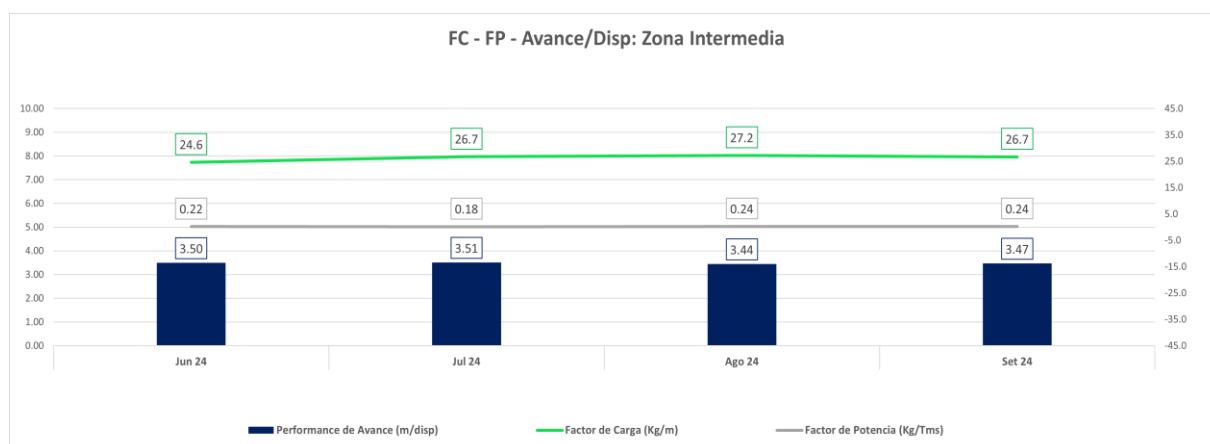
Nota. Elaboración propia

4.2.4.2.2. Compañía - CIA intermedia

En la figura 21 se puede observar el promedio de los 3 KPI's anteriormente mencionados en compañía Zona Intermedia, donde el mes que está cerca de la meta deseada de Performance de Avance es el mes de julio con 3.51 m/disp, seguidamente el Factor Carga los meses de julio y septiembre con 26.7 kg/m y finalmente el Factor Potencia los meses de agosto y septiembre con 0.24 kg/ton.

Figura 21

KPI's Avance – Factor Carga – Factor Potencia de CIA Intermedia



Nota. Elaboración propia.

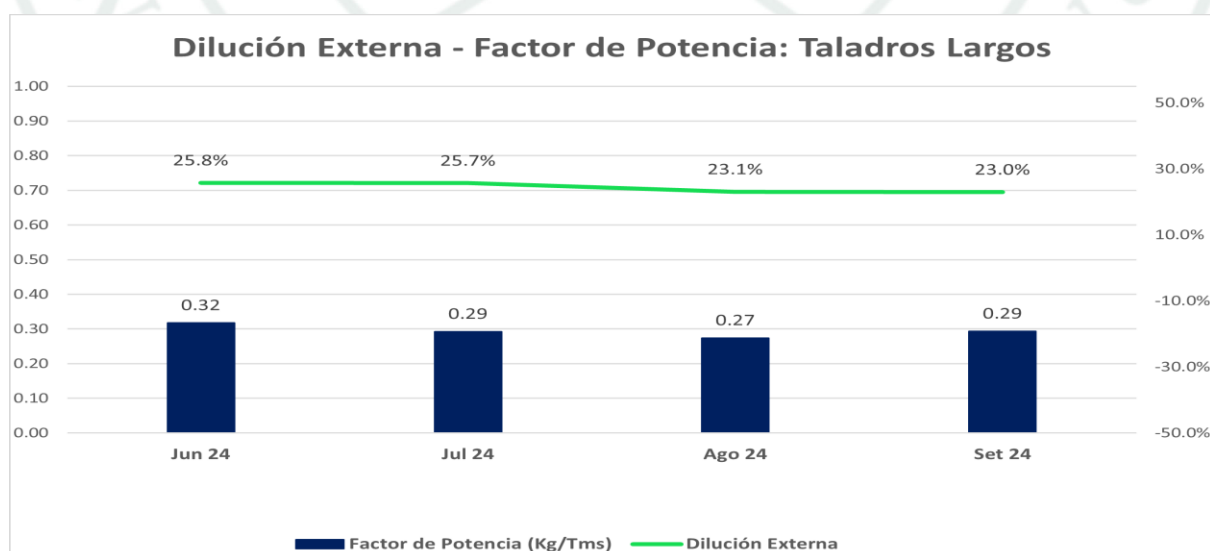
4.2.4.2.3. CIA Taladros largos

En la figura 22 se puede observar que tiene diferente KPI's, debido a que como es una zona muy frágil, medir el kg/m no es muy factible, por lo que se mide la Dilución Externa que mide el material de desecho o roca estéril que se extrae junto con el mineral de interés, proveniente de fuera del cuerpo mineralizado.

Donde el mes que está cerca de la meta deseada de Performance de Avance es el mes de junio con 0.32 m/disp y la Dilución Externa con menos porcentaje es en el mes de septiembre.

Figura 22

KPI's Dilucion externa - Factor Potencia de CIA Taladros Largos



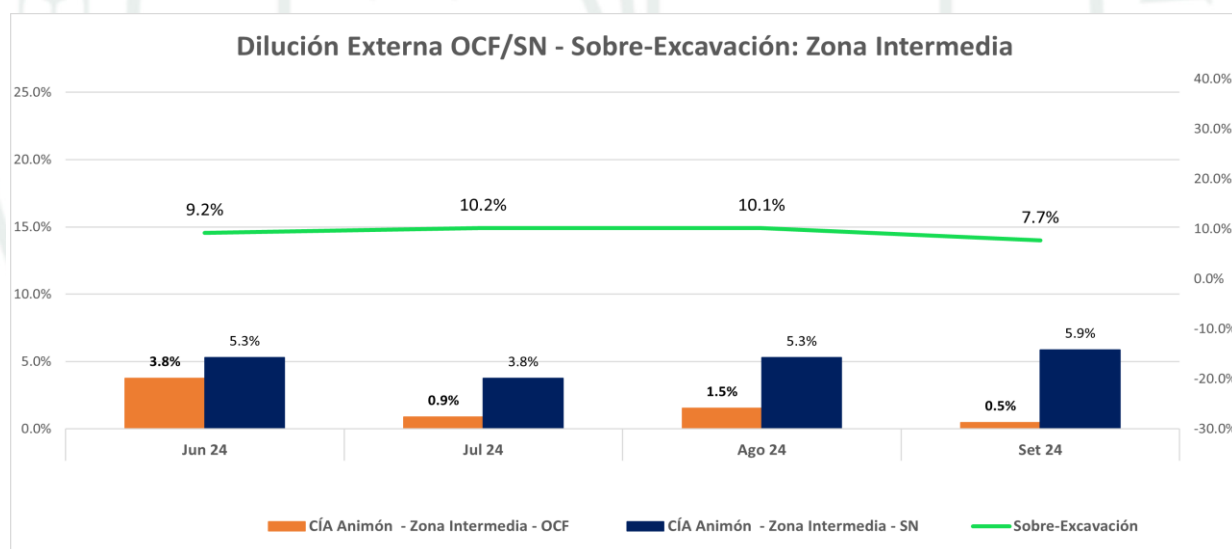
Nota. Elaboración propia

En la figura 23 se puede observar la Dilución Externa y la Sobre Excavación de compañía Zona Intermedia. Donde nos presenta 2 tipos de excavación aplicados:

OCF (método Corte y Relleno Ascendente): Se aplica por lo general en cuerpos de forma tabular verticales o subverticales, de espesor variable desde unos pocos metros hasta 15 o 20 metros, el valor del mineral debe ser valioso de modo que su recuperación compense los mayores costos del método.

SN (Shirinkage): Es un método de explotación aplicable a vetas (estructuras verticales), principalmente para explotaciones menores, consta en utilizar el mineral roto como piso de trabajo (soporte adicional) para seguir explotando de manera ascendente. Donde se podrá observar la dilución externa con ambos métodos, así podemos decir que el método OCF es el que menos desmonte presenta en las excavaciones y que el mes de septiembre tiene el menor porcentaje (0.5%) de dilución externa. También podemos decir que en los meses de julio y agosto hubo mayores porcentajes de sobre excavación (mayor desmonte).

Figura 23
KPI's Dilucion externa - Factor Potencia de CIA Intermedia

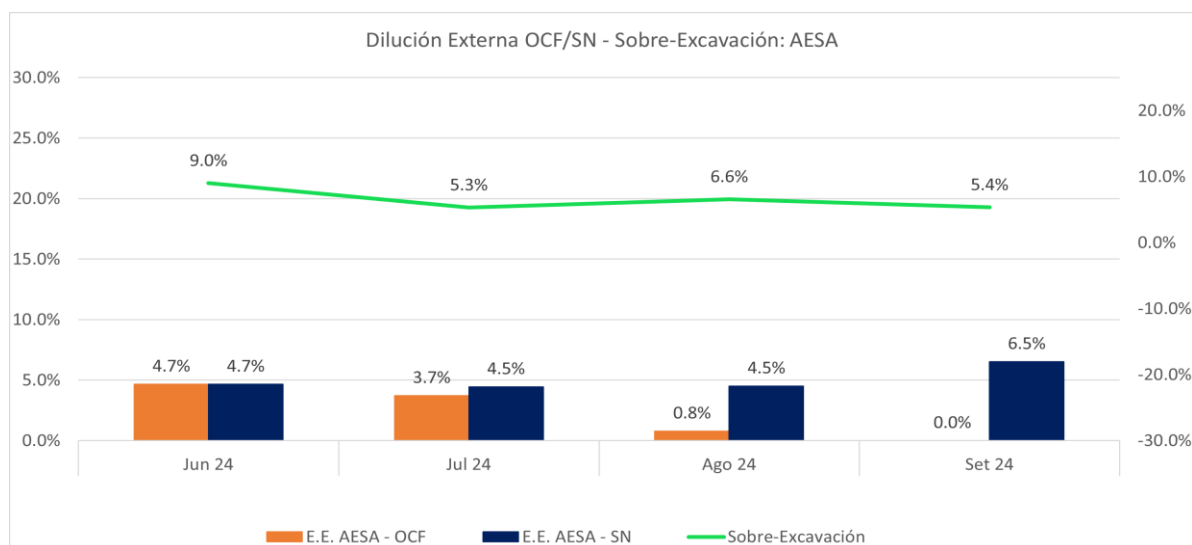


Nota. Elaboración propia.

En la figura 24 se puede observar la dilución externa con la contrata Aesa, podemos decir que el método OCF y SN muestran un promedio similar en la dilución externa y que el mes de septiembre tiene el mayor porcentaje (6.5%) de dilución externa. También podemos decir que en los meses de junio y julio hubo mayores porcentajes de sobre excavación (mayor desmonte).

Figura 24

KPI's Dilución externa - Factor Potencia de AESA



Nota. Elaboración propia

En la figura 25 se puede observar el promedio general de KPI's durante los 4 meses analizados, donde se muestra en Compañía (CIA) Intermedia no se llega al objetivo de Eficiencia deseada, la diferencia es de -0.5, en el Factor Carga a -2 y Potencia a -0.4. En Compañía (CIA) Taladros Largos en la eficiencia está a -0.1 y por ultimo los resultados de la contrata Aesa se puede observar que no se llega al objetivo de Eficiencia deseada, la diferencia es de -0.1, en el Factor Carga a -0.25 y Potencia a -0.03.

Figura 25

Promedio (junio, julio, agosto, septiembre) de metros, disparos, consumo de explosivos, eficiencia

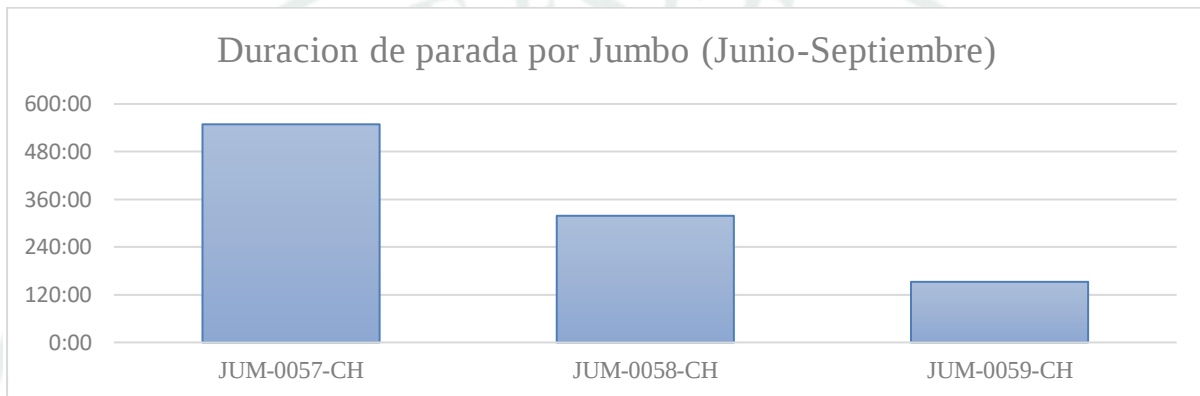
VALOR DE INDICADORES				
Zona:		INTERMEDIA		
				Budget
METRAJE	166.95	Eficiencia(m/disp)	3.452483698	3.5
N°DISPAROS	48.38888889	F.A (Kg/mt)	26.33725045	28
EXPLOSIVOS FRENTE	4411.678333	F.P(Kg/tn)	0.219457558	0.26
EXPLOSIVO DE TAJO	352.035	TONELAJE	1674.5	
KPI TALADROS LARGOS				
TONELAJE TOTAL (Tn)				Budget
4586.611111		Factor de potencia (Kg/tn)	0.298688538	0.3
TOTAL EXPLOSIVOS				
1457.772222				
VALOR DE INDICADORES				
Zona:		AESA		
				Budget
METRAJE	207.7277778	AV. (Mts/Disp.)	3.418350143	3.5
N°DISPAROS	60.94444444	F.A. (Kg/ml.)	28.09251822	28.25
EXPLOSIVOS FRENTE	5802.117222	F.P. (Kg/ton.)	0.224193922	0.259
EXPLOSIVOS TAJO	770.7300597	TONELAJE	3392.833333	

Nota. Elaboración propia

4.2.4.3. Paradas de los equipos Jumbo

En la figura 26 se puede observar las paradas de los equipos Jumbo, donde su papel es fundamental para las perforaciones y seguidamente la voladura. Donde se puede observar que durante los 4 meses se tiene acumuladas 1020 horas muertas de trabajo.

Figura 26
Paradas de equipos (jumbo) de junio a septiembre

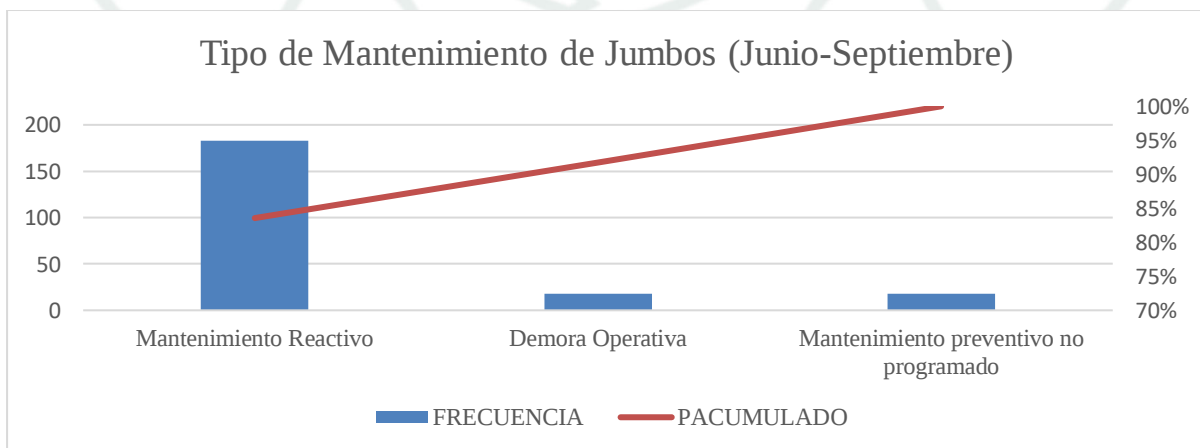


Nota. Elaboración propia

Se toma en consideración solo los equipos Jumbo, ya que este equipo es el que interviene más en el proceso de perforación para colocar la voladura

En la figura 27 se puede observar lo tipos de mantenimientos de los equipos Jumbo, donde su papel es fundamental para las perforaciones y seguidamente la voladura. Donde durante los 4 meses analizados prevalece el mantenimiento reactivo por sobre los mantenimientos preventivos. Esto afecta a la programación de voladuras y resultados esperados.

Figura 27
Mantenimiento de equipos (jumbo)



Nota. Elaboración propia.

4.2.4.4. Mantenimientos realizados y su efecto en el proceso de voladura

En la figura 28 se puede observar la cantidad de trabajos no realizados por turno del Area de Mantenimiento eléctrico, esto afecta directamente al funcionamiento de sistema de fuente de poder, ventilación y bombeo que son claves para las condiciones de las labores.

Figura 28
Trabajo de Mantenimiento eléctrico-septiembre

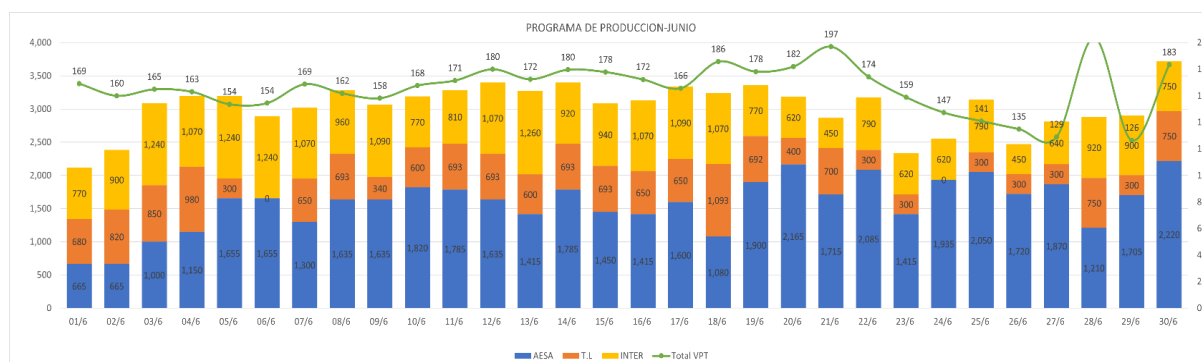
PEDIDOS PARA MANTT. ELÉCTRICO				PEDIDO	PRIORIDAD	FECHA	TURNO
10213819	CIA	NV 4150 PIQUE TIMMERS	INSTALAR TABLERO DIFERENCIAL	GREYES	1	13/11	D
10213852	CIA	NV 4350 AND	INSTALAR PULSADOR ÚLTIMO VENTILADOR	JMEZA	1	07/11	N
AESA							
10214485	AESA	NV 4025 AC 500-1 JANP	LIBERACION DE BOMBA	GARCIA	1	16/11	N
10214486	AESA	NV 4050 RP 4050 NWIC	LIBERACION DE BOMBA	GARCIA	1	16/11	N
10214487	AESA	NV 3975 RP 4000 SPLUT	LIBERACION DE BOMBA	GARCIA	1	16/11	N
10214488	AESA	NV 3900 RP 3850 PRIN	LIBERACION DE BOMBA	GARCIA	1	16/11	N
10214489	AESA	NV 4025 AC 300 VAND	LIBERACION DE BOMBA	GARCIA	1	16/11	N
10214490	AESA	NV 3900 AC 200 PRIN	LIBERACION DE BOMBA	GARCIA	1	16/11	N
10214491	AESA	NV 3925 RP 3975 V3	LIBERACION DE BOMBA	GARCIA	1	16/11	N
10214492	AESA	NV 3975 CP 500 SPLUT	LIBERACION DE BOMBA	GARCIA	1	16/11	N
10214493	AESA	NV 4025 AC 000 OFE	LIBERACION DE BOMBA	ZEVALLOS	1	16/11	N
10214494	AESA	NV 4075 SN 400 JESSICA	LIBERACION DE BOMBA	ZEVALLOS	1	16/11	N
10214495	AESA	NV 4025 AC 300 VSJA	ADELANTAR TABLERO DIFERENCIAL	KMAYTA	2	16/11	N
10214496	AESA	NV 4025 CA 4025 23	ADELANTAR TABLERO DIFERENCIAL	KMAYTA	3	16/11	N
10214497	AESA	NV 4150 RP 4150 MIROSA	INSTALAR TABLERO DIFERENCIAL	VILLEGAS	2	16/11	N
10214498	AESA	NV 4075 OFELIA	INSTALAR TABLERO DIFERENCIAL	VILLEGAS	3	16/11	N
10214499	AESA	NV 4025 AC 000 OFE	ADELANTAR TABLERO DIFERENCIAL	VILLEGAS	3	16/11	N
10214385	AESA	NV 4000 MRO AC	INSTALAR CAJA DIFERENCIAL	BOSORIO	1	15/11	D
10214386	AESA	NV 4025 AND AC 300	ADELANTAR CAJA DIFERENCIAL	BOSORIO	1	15/11	D
10214387	AESA	NV 4025 OFE AC	ADELANTAR CAJA DIFERENCIAL	BOSORIO	1	15/11	D
10213964	AESA	NV 4000 SN 500-2 JP	ADELANTAR TABLERO DIFERENCIAL	GARCIA	2	14/11	N
10213965	AESA	NV 4025 AC-500-1 SJ	ENERGIZAR BOMBA	GARCIA	3	14/11	N
10213991	AESA	NV 4050 RP 4050 NWIC	INDEPENDIZAR TABLERO DIFERENCIAL	JPACO	1	13/11	N
10210021	AESA	NV 3975 RP 4000 SPLUT	ILUMINAR POZA 15	TRUJILLO	1	03/11	N
10214249	AESA	NV 3925 SN 400 V3	MOVER CAJA DIFERENCIAL	BOSORIO	1	14/11	D
10214260	AESA	NV 4025 AC 000 OFE	ADELANTAR CAJA DIFERENCIAL	BOSORIO	1	14/11	D
APROMINC ROMBO							
10214500	APROMINC	NV 4000 AC 600-1 JP	ENERGIZAR TABLERO ARRANCADOR	AFLORES	1	16/11	N
10214501	APROMINC	NV 4025 RP MIRKO P2 38	ENERGIZAR BOMBA	AFLORES	2	16/11	N
10214502	APROMINC	NV 3900 RP 3900 PRI	ADELANTAR TABLERO ARRANCADOR	AFLORES	3	16/11	N
10214503	APROMINC	NV 3950 XC 3950	ADELANTAR TABLERO ARRANCADOR	AFLORES	3	16/11	N
10214410	APROMINC	NV 3950 GIS POZA 32	INSTALAR ILUMINACION	MHINOSTROZA	1	15/11	D
10214411	APROMINC	NV 3950 GIS POZA 38	ESTANDARIZAR CABLE ELECTRICO	MHINOSTROZA	1	15/11	D
10214318	APROMINC	NV 4025 RP MO POZA 38 AGUAS CALIENTES	CAMBIAR BOMBA	AFLORES	1	15/11	N
10214320	APROMINC	NV 3900 AC 700	ADELANTAR TABLERO ARRANCADOR DE BOMBA	AFLORES	3	15/11	N
10214271	APROMINC	NV 4000 RP SPLUT	INSTALAR BOMBA DE 38 HPS	IRAMIREZ	1	14/11	D
10214272	APROMINC	NV 3900 AC 700	INSTALAR BOMBA	IRAMIREZ	1	14/11	D
10213966	APROMINC	NV 4200 POZA 01 COYOTE	REPARAR LUMINARIA INOPERATIVA	ASOTO	1	14/11	N
10213967	APROMINC	NV 4050 POZA 14 SPLUT	REPARAR LUMINARIA INOPERATIVA	ASOTO	2	14/11	N
APROMINC RH							
10213968	APROMINC	NV 4250 MARIA ROSA	DESENERGIZAR BOMBA	PROJAS	1	14/11	N
ROBOCON							
10211911	ROBOCON	NV 4150 BP 150	ILUMINAR CAMARA FRENTE AL TALLER	AGUIRRE	1	08/11	N
SOSTENIMIENTO							
10214504	SOSTENIMIENTO	NV 4280 BODEGA CIA	ADELANTAR TABLERO DIFERENCIAL	CROMERO	1	16/11	N
10214322	SOSTENIMIENTO	NV 4150 JACOB TIMMERS	INSTALAR TABLERO DIFERENCIAL	CROMERO	1	15/11	N
10214323	SOSTENIMIENTO	NV 4150 BP 145	REHUBICAR CABLES ELECTRICOS PARA DESATE MECANIZADO	CROMERO	2	15/11	N
10213263	SOSTENIMIENTO	NV 4610 RP MIRKO (B/M 100 METROS)	ADELANTAR TABLERO DIFERENCIAL	SEORIA	2	12/11	N
SERVICIOS							
10214324	SERVICIOS	NV 4000 RP 100 SPLUT/AC-500-3	INSTALAR TABLERO DIFERENCIAL	LANASTARES	1	15/11	N
10214325	SERVICIOS	NV 4100 CA 100 02 ETAPAS	INSTALAR SALIDA DE ENERGIA 220V PARA MAQUINA DE TERMOFUSION	LANASTARES	2	15/11	N

Nota. Se puede evidenciar cuantos requerimientos quedan pendientes acumulados en el mes de septiembre. Elaboración propia.

4.2.4.4.1. Producción general del área de voladura

En la figura 29 se puede observar el reporte mensual del mes de junio, donde se puede observar el VPT (valor por tonelada), que se usa para estimar el valor económico promedio del mineral extraído por tonelada, y ayuda a comparar la rentabilidad entre zonas o periodos. Donde se puede ver que a finales de junio se disparó por encima de los 200 dólares el valor del mineral.

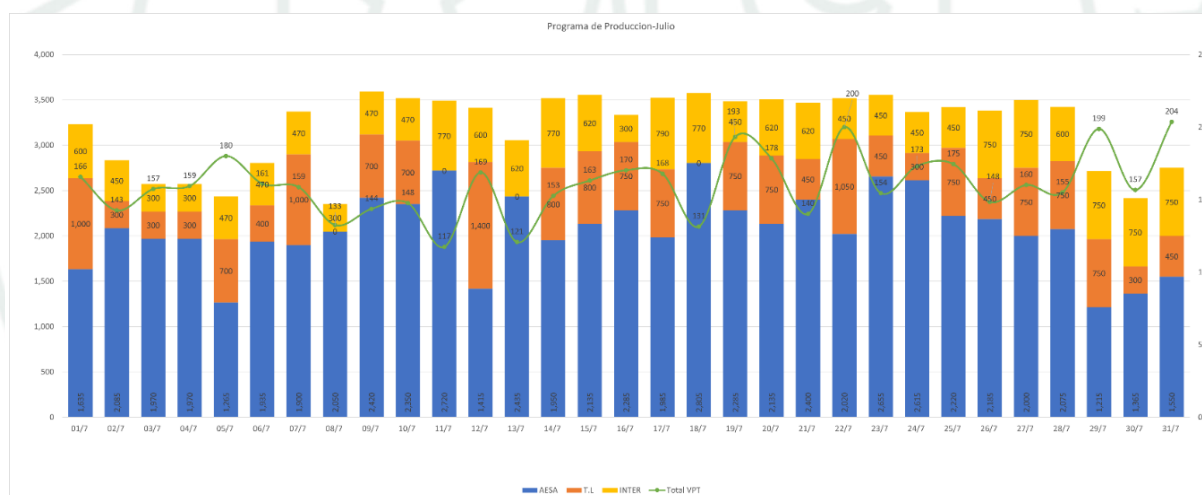
Figura 29
Reporte de avance mensual de junio



Nota. Elaboración propia

En la figura 30 se puede observar el reporte mensual del mes de julio, donde se puede observar que el VPT es estable y se mantiene entre 150 a 200 dólares y la producción es en promedio un 80% más estable que el mes anterior.

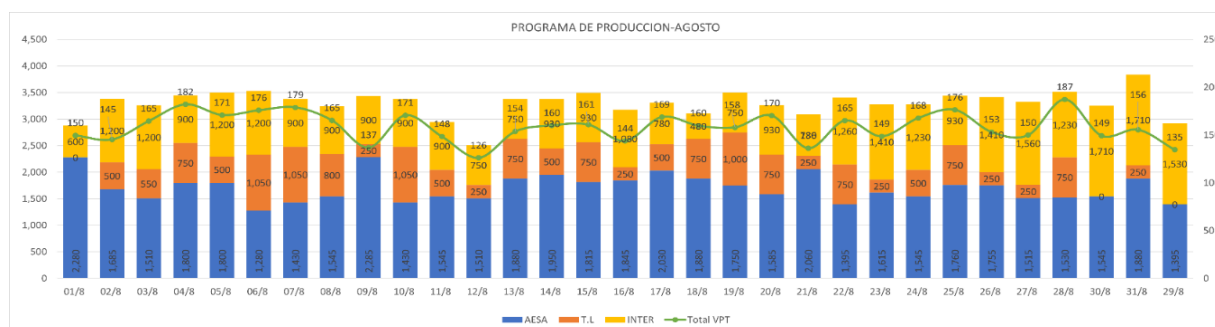
Figura 30
Reporte de avance mensual de julio



Nota. Elaboración propia

En la figura 31 se puede ver los avances durante el periodo de agosto, donde se puede observar que el VPT es estable y se mantiene entre 150 a 200 dólares y la producción es en promedio un 90% más estable que el mes anterior

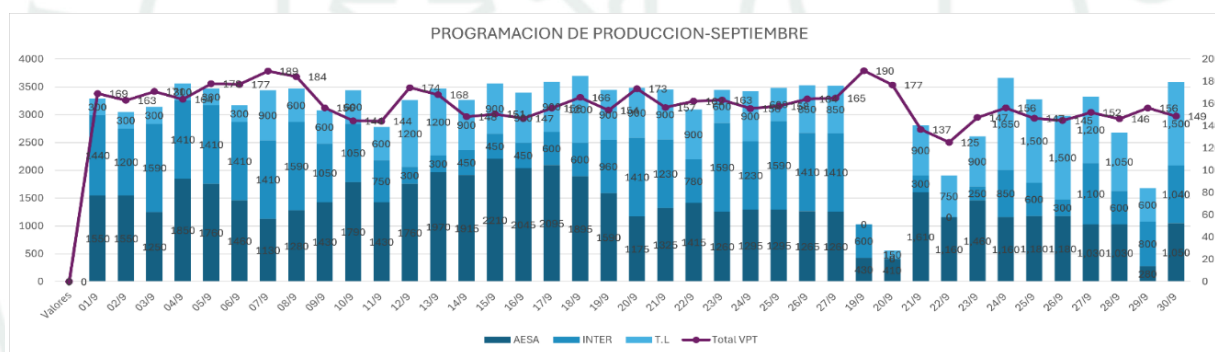
Figura 31
Reporte de avance mensual de agosto



Nota. Elaboración propia.

En la figura 32 se puede ver los avances durante el periodo de septiembre, donde se puede observar que el VPT es varia y se mantiene entre 140 a 180 dólares y la producción es en promedio un 30% menos estable que el mes anterior

Figura 32
Reporte de avance mensual de septiembre

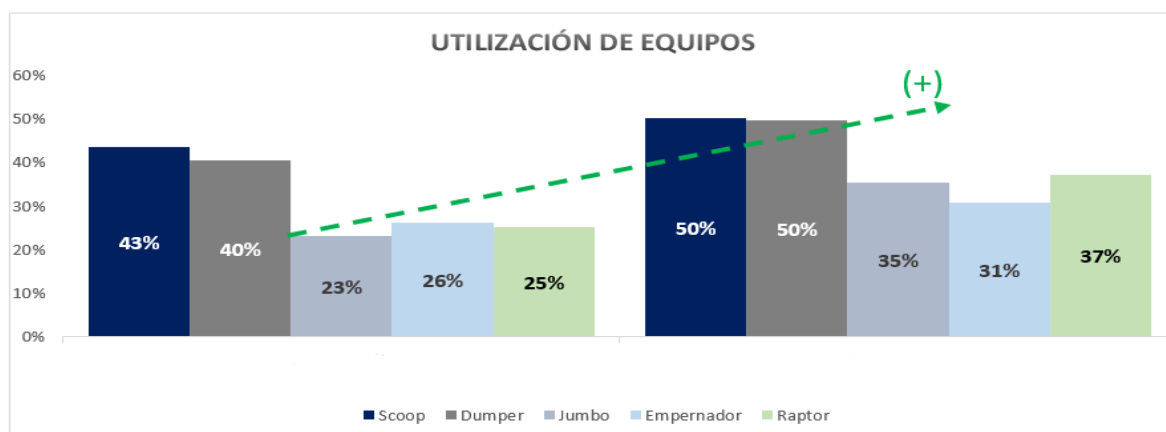


Nota. Elaboración propia

En la figura 33 se pude ver una muestra de la utilización de equipos durante el mes de agosto, donde los dumper y scoop son los equipos más utilizados en el proceso de extraer mineral, desmonte y limpieza de vías

Figura 33

Eficiencia operativa de cada equipo (e.g., perforadoras, sistemas de carga).



Nota. Elaboración propia

4.3. Análisis de causa raíz

4.3.1. Descripción de los problemas encontrados

A partir del diagnóstico del proceso de voladura en la Unidad Minera Chungar, se identificaron los siguientes problemas que limitan su desempeño óptimo:

- Existe un 54% de incumplimiento en la ejecución de voladuras por parte del contratista.
- Existe un 26% de incumplimiento en la ejecución de voladuras por parte de la propia compañía.
- Incumplimiento del tonelaje objetivo tras las voladuras, afectando la eficiencia general.
- Deficiente planificación del patrón de perforación y mala distribución de la carga explosiva.
- Errores frecuentes en la ejecución de la perforación (profundidad, inclinación, alineación de taladros).
- Retrasos operativos por ausencia o demora en limpieza, autorizaciones y formatos.
- Condiciones geológicas no previstas que impactan la fragmentación esperada.
- Servicios auxiliares (ventilación, energía, agua) con fallas recurrentes que paralizan labores.
- Inadecuado mantenimiento preventivo de equipos clave para perforación y voladura.
- Sobreuso o desperdicio de explosivos debido a cargas incorrectas.
- Falta de comunicación entre geomecánica, planeamiento y operaciones en el ciclo de voladura.
- Escasa estandarización de procedimientos y desconocimiento de herramientas Lean por parte del personal operativo.

4.3.2. Los 5W del Análisis de Causa Raíz

What (¿Qué está ocurriendo?)

Existen múltiples fallas que afectan el proceso de voladura en minería subterránea, como mantenimiento insuficiente, errores en la planificación del terreno, fallas en ventilación, energía, bombeo, y drenaje. Estas generan interrupciones, riesgos operativos y demoras.

Why (¿Por qué sucede?)

Por causas como falta de mantenimiento preventivo, escasa coordinación entre áreas, mala planificación geotécnica, carencia de monitoreo, falta de capacitación del personal, y deficiencias en los sistemas de soporte de equipos.

Where (¿Dónde ocurre?)

En diferentes etapas del proceso de voladura: sostenimiento, perforación, planeamiento, sistemas de ventilación, drenaje, energía, bombeo, y manejo de equipos.

When (¿Cuándo sucede?)

Durante la preparación y ejecución de labores de voladura, especialmente en condiciones críticas como emergencias, mantenimientos no programados, o cuando no se evalúan correctamente los riesgos del terreno.

Who (¿Quién está involucrado?)

Personal de mantenimiento, operadores de maquinaria, ingenieros de planeamiento y geotecnia, supervisores de turno, y equipos de soporte logístico y técnico. También la alta dirección por su rol en la asignación de recursos y definición de políticas.

Tabla 7
Desarrollo de los Cinco Porque's

Pregunta (W)	Desarrollo
What (¿Qué está ocurriendo?)	No se realiza mantenimiento preventivo ni se gestionan fallas reactivas. No se planifica correctamente el uso de explosivos (tipo, cantidad, método). No se hace mantenimiento a servicios auxiliares (ventilación, energía, agua). El personal operativo no está capacitado adecuadamente. Se ejecutan mal los taladros (posición, profundidad, inclinación). Falta comunicación entre áreas clave. Fallas frecuentes en los servicios auxiliares. Zonas y labores en desorden, sin limpieza. No hay respuesta rápida ante fallos. Se retrasa la voladura por permisos o vías obstruidas por falta de limpieza.
Why (¿Por qué sucede?)	Ausencia de planificación de mantenimiento. Descoordinación entre planeamiento, geomecánica y operación. Falta de responsables asignados a servicios auxiliares.

	Carencia de programas de capacitación y seguimiento de habilidades. Falta de limpieza de las vías Canales de comunicación ineficientes entre áreas. Mínimo control sobre servicios auxiliares por baja inversión. Falta de orden en almacenes y zonas de trabajo. Ausencia de sistema de alertas o protocolos de emergencia. Planeamiento documental débil y sin seguimiento riguroso.
Where (¿Dónde ocurre?)	Frente de trabajo subterráneo (zonas de voladura y perforación). Equipos clave como jumbos, emperadoras y cargadores. Oficinas de planeamiento y supervisión técnica. Áreas auxiliares: ventilación, energía, drenaje. Zonas comunes del ciclo operativo.
When (¿Cuándo sucede?)	Durante los turnos de operación. En la etapa previa y durante la ejecución de la voladura. Al inicio del ciclo operativo o durante rotaciones de personal. Cuando surgen fallas no planificadas o urgencias técnicas. En la coordinación previa al inicio del turno o jornada de trabajo.
Who (¿Quién está involucrado?)	Área de mantenimiento mecánico y eléctrico. Supervisores de turno y jefes de guardia. Operadores de jumbos y personal de voladura. Ingenieros de planeamiento y geomecánica. Logística, recursos humanos e infraestructura.

Nota. Elaboración propia, 2026.

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE MEJORA

5.1. Indentificación de oportunidades de mejora

Tabla 8
Identificación de oportunidades de mejora

Causa raíz	Causa Raíz detallado	Oportunidad de mejora	Herramienta (Lean Mining)	Justificación
08- Condiciones de labor	Zonas y labores en desorden, falta de limpieza y ausencia de estandarización visual	Implementar la metodología 5S en zona de carga, almacén y áreas de preparación de voladuras	5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke)	Permite eliminar materiales innecesarios, ordenar herramientas, mantener limpieza, estandarizar protocolos visuales y sostener disciplina. Mejora la seguridad, reduce tiempos muertos y aumenta la eficiencia global en voladura.
10- Equipos	No se realiza reporte de mantenimiento preventivo, lo que ocasiona mantenimientos reactivos.	Implementar un reporte de mantenimiento preventivo y predictivo.	PHVA	PHVA permiten reducir paradas inesperadas, incrementar la disponibilidad de maquinaria crítica (como jumbos y perforadoras) y garantizar continuidad operativa.
07- Falta de servicios 05- Mantenimiento eléctrico 15- Ventilación	No se realiza mantenimiento a las fuentes de energía, bombeo, agua, ventilación, lo que origina que no se tengan buenas instalaciones dentro de mina.	Crear una rutina de inspección para asegurar continuidad operativa.	Plan de Mantenimiento / tabla de control	Busca maximizar la eficiencia de los equipos mediante. Esto permite reducir paradas inesperadas, incrementar la disponibilidad de maquinaria crítica (como jumbos y perforadoras) y garantizar continuidad operativa.
16- Planeamiento / Falta de reporte	Falta de capacitación del procedimiento de voladura en el personal operativo y contratista	Diseñar e implementar un plan de capacitación continua en voladura y mantenimiento.	Plan Capacitación /Matriz de Habilidades	A través de planes de capacitación y matrices de habilidades se puede asegurar que cada operador tenga el nivel de competencia técnica necesario. Esto reduce errores en perforación, carga y detonación, mejorando la eficiencia global.
	Ausencia de protocolos estandarizados para la ejecución de voladuras.	Desarrollar manuales operativos estandarizados y checklists por etapa.	Estandarización: protocolo para ejecución de voladuras	Establecer procedimientos operativos estándar y delimitar responsabilidades evita la duplicación de tareas, omisiones y retrabajos. Es esencial para asegurar que todos los involucrados comprendan su rol dentro del proceso.
	Supervisión limitada de contratistas en campo.	Implementar un sistema de auditoría y control de calidad en la ejecución de voladuras.	Sistema de auditorías internas	Realizar auditorías 2 veces al mes para revisar procedimientos es la respuesta para detectar falencias en los procedimientos y caminos alternos.
	Falta de análisis post-voladura (retroalimentación).	Establecer reuniones post-operativas para evaluar fragmentación y cumplimiento.	Protocolo de post voladura/ reuniones retroalimentabas	Favorece la toma de decisiones rápidas y mejora el control de las etapas críticas de la voladura.
01- Cambio de orden de trabajo	Escasa coordinación entre áreas (planeamiento, operaciones, geotecnia, mantenimiento). No se tiene definido los destinos de minado a tiempo, lo que origina un cambio constante en la asignación de equipos, que se ve reflejado en sobretiempos.	Establecer reuniones de planificación integradas con responsables de cada área clave para coordinar destinos de minado y asignación de equipos.	Gestión visual / Programa de reuniones inter-áreas	La gestión visual (tableros, alertas, etiquetas, luces) permite que los operadores y supervisores vean fácilmente el estado del proceso. Favorece la toma de decisiones rápidas y mejora el control de las etapas críticas de la voladura.

Nota. Elaboración propia

5.2. Estrategia General de Mejora

5.2.1. Enfoque metodológico: Ciclo PHVA

En el presente capítulo se propone una estrategia de mejora para optimizar el proceso de voladura en minería subterránea, basada en el enfoque Lean Mining y el análisis de las principales causas raíz que afectan la eficiencia operativa. La propuesta busca alinear los objetivos operacionales con la estrategia minera, reduciendo los tiempos improductivos, minimizando costos y fomentando una cultura de mejora continua en los procesos críticos de la operación.

La mejora está estructurada bajo el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Analizar), marco metodológico clave en la filosofía Lean, y permite aplicar de forma ordenada los principios de eficiencia, estandarización y reducción de desperdicios en cada etapa del proceso.

5.2.2. Objetivos de la propuesta de mejora

De acuerdo con los principios Lean y experiencias previas en el sector minero, la mejora de procesos debe considerar el compromiso de la alta dirección y la participación activa del equipo de trabajo en la identificación de problemas, análisis de causas raíz y diseño de soluciones sostenibles. En este sentido, la propuesta presentada tiene como principales objetivos:

- Implementar prácticas estandarizadas que garanticen la continuidad operativa del proceso de voladura, minimizando las interrupciones por fallas prevenibles.
- Promover una cultura de trabajo colaborativo y análisis estructurado para la toma de decisiones basadas en datos.
- Desarrollar un sistema de gestión visual y de control mediante indicadores (KPI's) que permitan monitorear la eficacia de las mejoras implementadas.
- Optimizar el uso de insumos como explosivos, energía y recursos auxiliares, en función de una caracterización adecuada del terreno y una planificación eficiente.

5.3. Desarrollo de la Metodología 5S

5.3.1. Diagnóstico inicial de las 5S

Para realizar el diagnóstico inicial de las 5S, se elige la zona de carga y preparación de voladura, ya que se concentran muchas de las actividades relacionadas con la organización, limpieza y estandarización de los procesos de voladura. Esta zona es clave para identificar

desordenes, fallas en la gestión de materiales, equipos y documentación, y para establecer un estado ordenado que facilite la implementación de mejoras. Además, en carga y preparación se puede detectar rápidamente desperdicios, errores y deficiencias que afectan la eficiencia y seguridad del proceso de voladura, permitiendo un diagnóstico efectivo para aplicar las herramientas Lean y optimizar esa etapa específica del proceso minero. Se utilizó el siguiente checklist, el cual se muestra a continuación.

Tabla 9

Check list de evaluación inicial 5S en la zona de almacén y carga de voladura

Área evaluada:		Zona de carga y preparación de voladuras		
Fecha:		--/--/--		
Evaluador:		Flores Quicaña Daphne Jazmin		
Turno:		----		
Donde: 0= nunca se cumple, 1= pocas veces se cumple , 2= muchas veces se cumple, 3= siempre se cumple				
Diagnóstico Inicial				
5S	Ítem evaluado	Descripción del criterio	Puntaje (0-3)	Observaciones / Hallazgos
Seiri				
(Clasificar)	Eliminación de elementos innecesarios	Presencia de materiales vencidos o sin uso.	1	Se encontraron detonadores vencidos sin identificación visible.
	Separación de materiales útiles y defectuosos	Materiales mezclados sin codificación.	0	No se diferenciaban cables dañados de operativos.
Seiton				
(Ordenar)	Herramientas y materiales tienen lugar definido	Herramientas sueltas o mal ubicadas.	1	Herramientas colocadas sobre el suelo o en cajas sin orden.
	Accesibilidad y rapidez de acceso	Tiempo de búsqueda elevado.	1	Mangueras mezcladas, sin criterio de uso frecuente.
	Etiquetado o codificación visual	Falta de señalización.	3	Sin etiquetas ni colores visibles en estanterías.
Seiso				
(Limpiar)	Ausencia de suciedad o residuos	Área con polvo de voladura y restos metálicos.	1	Peligro de deslizamiento o contaminación.
	Detección de fallas visibles	Fugas y residuos no evidenciados.	1	No se realiza inspección visual diaria.
	Condiciones mantenidas durante la jornada	Solo se limpia al final del turno.	0	Sin rutina estandarizada de limpieza.
Seiketsu				
(Estandarizar)	Existencia de reglas claras para orden y limpieza	No existen procedimientos. Se realiza limpieza a criterio	1	Falta de carteles o guías visuales.
	Visualización de estándares	Zonas operativas no diferenciadas.	0	No se indican zonas de carga, tránsito o emergencia.
Shitsuke				
(Sostener)	Hábitos de orden mantenidos sin supervisión	Solo se corrige bajo presión.	0	Bajo compromiso del personal sin supervisión.
	Participación activa del personal	Falta de involucramiento.	1	Algunos operadores colaboran; otros se desentienden.

Nota. Elaboración propia.

5.3.1.1. Resumen de evaluación inicial

El diagnóstico inicial de las 5S en la zona de carga y preparación de voladuras reveló una condición crítica, con un cumplimiento general del 27.78%, lo que evidencia la ausencia de una implementación formal de esta metodología. Las áreas más afectadas fueron la estandarización (Seiketsu) y la disciplina operativa (Shitsuke), con puntajes cercanos a cero, lo que refleja un alto riesgo operacional debido al desorden y la falta de control visual. Este escenario justifica una intervención urgente mediante un piloto de 5S, enfocado en eliminar desperdicios, reducir riesgos y establecer un entorno de trabajo seguro y eficiente. Los resultados del diagnóstico sirven como base para diseñar estrategias específicas que permitan superar estas deficiencias y sentar las bases para una mejora continua en el proceso de voladura.

Tabla 10

Resumen de evaluación inicial de las 5S en la zona de carga y preparación de voladuras

Sección	Puntaje obtenido	Total posible	% Cumplimiento
Seiri	$1 + 0 = 1$	6	16.7%
Seiton	$1 + 1 + 3 = 5$	9	55.6%
Seiso	$1 + 1 + 0 = 2$	9	22.2%
Seiketsu	$1 + 0 = 1$	6	16.7%
Shitsuke	$0 + 1 = 1$	6	16.7%
TOTAL	10 / 36		27.78%

Nota. Elaboración propia.

- Condición inicial crítica: 5S no implementadas formalmente.
- Áreas de mayor deterioro: estandarización (0%) y disciplina operativa (16.7%).
- Alto riesgo operacional por desorden y falta de control visual.
- Justificación clara para intervención urgente mediante piloto de 5S.

Figura 34

Zona de almacén de voladura



Nota. Esta imagen que nos muestra la cámara de vigilancia nos muestra que hubo una inundación cerca al almacén de voladuras, donde debido al desorden de este hubo pérdidas materiales.

Figura 35

Via de ingreso y salida de la Zona de almacén



Nota. Esta cámara muestra la falta de limpieza al ingreso del almacén, así perjudicando el transporte de los explosivos a las distintas labores de excavación.

5.3.2. Fase 1: Planear

Implementar la metodología 5S en un área operativa crítica como zona de carga, polvorín o espacio de equipos auxiliares, con el fin de eliminar desorden, reducir riesgos, facilitar inspección visual y generar disciplina operativa.

- Alto volumen de actividad (frecuencia de uso).
- Presencia de desorden visible en almacén, condiciones de riesgo en vías.
- Bajo desempeño operativo o recurrentes pérdidas de tiempo.

Tomando en cuenta los criterios anteriores y el diagnóstico realizado se determina que se aplicara la metodología de las 5S para la zona de carga y preparación de voladuras, donde convergen equipos, materiales explosivos y personal operativo, y donde los errores pueden generar riesgos severos.

Tabla 11

Plan de implementación de las 5S en la zona de carga y preparación de voladuras

Herramienta	Finalidad
5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke)	Crear un entorno de trabajo seguro, limpio y organizado en una zona de alto riesgo operativo (almacén, vías y carga de voladura).
Auditoría interna inicial	Identificar incumplimientos normativos, condiciones inseguras, errores de operación y falta de estandarización.
Gestión Visual (etiquetado, zonificación)	Señalizar claramente materiales, herramientas, rutas de tránsito, zonas de voladura, desmonte, limpieza, zonas de seguridad.

Nota. Elaboración propia

Tabla 12*Equipo de trabajo y responsabilidades para la implementación de las 5S*

Rol	Responsabilidades	Área asignada
Supervisor de turno	Coordinar actividades diarias, verificar cumplimiento de estándares y reportar avances.	Zona de carga y preparación.
Operadores	Ejecutar tareas de clasificación, orden y limpieza según protocolos establecidos.	Estaciones de trabajo asignadas.
Mantenimiento	Garantizar condiciones seguras de equipos y áreas (reparaciones, señalización).	Infraestructura crítica.
Comité 5S	Auditorías mensuales, capacitación y reconocimiento al personal.	Toda el área piloto.

Nota. Elaboración propia

5.3.3. Fase 2. Hacer

5.3.3.1. Seiri (Clasificar)

a) Diagnóstico

Se encuentra que existen materiales vencidos y mezclados sin identificación (puntaje 1/6).

Estrategias:

- Implementar un sistema de identificación visual (etiquetas rojas para descarte, verdes para operativos).
- Crear una rutina mensual de descarte de materiales vencidos.

Durante la evaluación inicial aplicada el 20/05/2025, la categoría Seiri obtuvo un bajo cumplimiento de 16.7%, debido principalmente a:

- Presencia de falta de limpieza de vías, lo que origina un retraso en movilizaciones.
- Materiales útiles y defectuosos mezclados, sin una codificación clara ni segregación.

Esto representa un riesgo tanto operacional como de seguridad, comprometiendo la eficiencia del proceso de voladura y la integridad del personal.

5.3.3.2. Estrategias de Clasificación Implementadas

5.3.3.2.1. Sistema de Identificación Visual (Etiquetas de Clasificación)

Se implementó un sistema basado en etiquetas de colores, codificadas según el estado y la utilidad del material:

Tabla 13
Sistema de Identificación Visual

Etiqueta Roja	Etiqueta Amarilla	Etiqueta Verde
Material vencido o en mal estado → marcar para descarte inmediato.	Material dudoso → enviar a revisión técnica	Material operativo y en buen estado → listo para uso

Nota. Elaboración propia

Tabla 14
Ejemplo de aplicación

Material	Etiqueta	Acción
Detonadores Lote 2304	Roja	Descarte inmediato
Cable de voladura tipo B	Roja	Almacén temporal para eliminación
Guantes dieléctricos nuevos	Verde	Uso inmediato

Nota. Elaboración propia

Figura 36
Elementos de almacén con el etiquetado correspondiente



Nota. Elaboración propia

5.3.3.2.2. Rutina Mensual de Descarte

Se estableció un reporte semanal y un cronograma fijo cada fin de mes para que supervisores y operadores ejecuten una inspección y descarte de materiales caducos, obsoletos o en mal estado.

Tabla 15*Ejemplo de formato de control de la rutina mensual*

Código	Nombre del Material	Estado Actual	Acción Tomada
xxx	Aceite hidráulico	40% restante	Traslado a residuos
xxx	Cable tipo B	Obsoleto	Almacén temporal

Nota. Elaboración propia

Luego de realizar un inventario de los principales ítems encontrados en la Zona de carga y preparación de voladuras se tiene la siguiente tabla aplicando los criterios de clasificación explicados anteriormente, primero semanalmente y finalmente mensualmente:

- Código del material
- Estado visual
- Acción tomada (descartado, aislado, en revisión)

Este formato garantiza trazabilidad de cada acción de descarte.

Tabla 16*Ejemplo de formato de control de en descarte de Materiales*

Nº	Código del Material	Nombre del Material	Estado Actual	Acción Tomada
1	DET-2304	Detonadores Eléctricos	Vencido, sin identificación	Marcado para descarte
2	MNG-02	Marquera de carga mediana	Dañada, fuga visible	Retiro y envío a revisión
3	LUB-X88	Lubricante hidráulico	Envase vencido al 40%	Traslado a residuos
4	CAB-B01	Cable de voladura tipo B	Obsoleto, sin uso registrado	Almacén temporal

Nota. Elaboración propia

Tabla 17*Reporte Semanal de Clasificación*

Día	Material Identificado	Estado Detectado	Acción Ejecutada	Clasificación (Etiqueta)
Lunes	Cable de voladura tipo B	Obsoleto, sin documentación	Marcado para descarte	Roja
Martes	Guantes dielectricos (L12)	Vencidos, desgaste por uso	Eliminado	Roja
Miércoles	Detector de gas portátil	Sin batería, en buen estado	Aislado para mantenimiento	Amarilla
Jueves	Manguera de carga gruesa	Buen estado, uso diario	Reubicado en zona prioritaria	Verde
Viernes	Manual técnico voladura	En uso pero deteriorado	Impresión nueva solicitada	Verde

Nota. Elaboración propia

- Materiales descartados: 2
- Materiales reubicados/corregidos: 2
- Materiales en revisión técnica: 1

Nivel de cumplimiento del plan Seiri esta semana: 83%

Tabla 18
Ejemplo de Inventario Mensual

N°	Código	Material / Herramienta	Estado	Etiqueta	Ubicación Asignada	Frecuencia de Uso	Observaciones
1	DET-01	Detonadores eléctricos (L2304)	Vencido	Roja	Gabinete seguridad A	Diaria	Marcado para descarte inmediato
2	MNG-02	Manguera de carga mediana	Operativo	Verde	Estantería zona técnica	Semanal	Re etiquetado; uso frecuente
3	CBL-B1	Cable de voladura tipo B	Obsoleto	Roja	Almacén temporal	Bajo	Pendiente de retiro
4	LUB-03	Lubricante para jumbos (XH88)	Vencido (40%)	Roja	Zonas inflamables (aislado)	Mensual	Etiquetado; trasladado a residuos
5	GUA-12	Guantes dieléctricos (L12)	Roto/Vencido	Roja	Caja EPP — lateral B	Diaria	Eliminado; reemplazo solicitado
6	DGT-G1	Detector de gases portátil	En revisión	Amarilla	Módulo de control de calidad	Eventual	Batería agotada; en reparación
7	MAN-01	Manual técnico de voladura	Dañado	Amarilla	Oficina Supervisión	Semanal	Impresión nueva en trámite
8	BRO-01	Brocas para taladro hidráulico	Operativo	Verde	Estación de herramientas	Diaria	OK – listado actualizado
9	CAS-04	Cascos de seguridad (EPP)	Operativo	Verde	Panel EPP – zona acceso	Diaria	Todos en buen estado
10	EXT-02	Extintor PQS 6Kg	Recargado	Verde	Punto de emergencia C	Semestral	Prueba de presión OK
11	PNT-05	Puntera de acero reforzado	Operativo	Verde	Cajón herramientas sección B	Diaria	Lista para uso inmediato
12	TNT-R1	Taco de emulsión encartuchado	Caducado	Roja	Bunker de carga (sección 3)	Diaria	Retirado de circulación
13	DYM-X01	Dinamita gelatinosa	En revisión	Amarilla	Cuarto de explosivos aislado	Eventual	Revisión por humedad en cartucho
14	VES-06	Chaleco reflectante naranja	Roto	Roja	Panel EPP – lateral C	Diaria	Pendiente de reposición
15	BTP-09	Batería portátil para detector	Sin carga	Amarilla	Estación eléctrica auxiliar	Semanal	En carga; verificar capacidad
16	BOR-02	Bornera para conectores	Operativo	Verde	Estante técnico zona A	Diaria	Completa y funcional
17	SIG-01	Señalización “Área de Voladura”	Desgastada	Amarilla	Zona de ingreso principal	Diaria	Reemplazo parcial en trámite
18	MTS-04	Multímetro digital	Operativo	Verde	Cajón de eléctricos	Semanal	OK – calibrado recientemente
19	FIL-07	Filtro para compresor	Por cambiar	Amarilla	Sala de compresores	Mensual	Orden de mantenimiento generada
20	TSP-03	Tarjeta de seguridad personal	Deteriorada	Roja	Bolsillo EPP – supervisor	Diaria	Reposición solicitada por RRHH

Nota. Elaboración propia

5.3.3.2.3. Reportes de estado de vías cada fin de turno

Durante el análisis de la situación actual se evidenció que una de las principales causas de interrupciones del ciclo de minado fueron las paradas no planificadas por limpieza de vías, acumulación de material suelto, presencia de obstáculos y deficiente coordinación entre turnos, lo que generó retrasos en la ejecución de voladuras, tiempos muertos y mayor exposición a riesgos operativos.

Este formato tiene como finalidad estandarizar el reporte del estado de las vías principales y secundarias al cierre de cada turno, asegurando que las condiciones de tránsito, seguridad y orden queden debidamente verificadas, registradas y comunicadas al turno entrante. De esta manera, se fortalece la continuidad operativa, se reduce la variabilidad entre turnos y se minimizan las interrupciones posteriores asociadas a labores de limpieza no programada

Tabla 19
Formato de reporte de estado de vías

Área:					Nivel:			
Turno:								
Fecha: __/__/__								
Responsable del turno:								
Responsable del turno:								
Vía / Labor	Estado de limpieza (L/M/D)*	Presencia de material suelto	Obstáculos identificados	Requiere limpieza adicional	Observaciones	Acción correctiva aplicada	Responsable	Hora de cierre
		Sí / No	Sí / No	Sí / No				
		Sí / No	Sí / No	Sí / No				
		Sí / No	Sí / No	Sí / No				
		Sí / No	Sí / No	Sí / No				

Nota. Elaboración propia

5.3.3.2.4. Objetivos alcanzados con Seiri

- Eliminación efectiva del 100% de materiales vencidos en el primer mes.
- Reducción del tiempo de búsqueda de herramientas en un 30% tras la clasificación.
- Mejora significativa en la seguridad de la zona de carga (reducción de elementos sueltos, minimización de riesgos de explosión accidental).

5.3.3.2.5. Recomendaciones Finales para Sostener Seiri

- Realizar auditorías internas mensuales con verificación del etiquetado.
- Integrar el sistema de codificación en el módulo de inducción para nuevo personal.

- Incentivar la participación del personal mediante reconocimientos simbólicos a la cuadrilla más ordenada.

5.3.3.3. *Seiton (Ordenar).*

Diagnóstico: Herramientas sin ubicación definida, tiempo de búsqueda alto, ausencia de orden lógico (puntaje 5/9).

Estrategias:

- Establecer estaciones de trabajo con ubicación fija y señalización visual (siluetas o pictogramas).
- Aplicar el sistema de “almacenaje por frecuencia de uso”, uso de codificación por colores para ubicar herramientas.

Figura 37

Almacén de voladura etiquetado, limpio y ordenado



Nota. Elaboración propia

5.3.3.3.1. *Estaciones de trabajo*

Las estaciones de trabajo con ubicación fija se diseñan en áreas estratégicas de la mina donde se centralizan las actividades, garantizar disponibilidad inmediata de herramientas, repuestos menores y consumibles.

Figura 38
Reporte Semanal de Clasificación

Estación de Trabajo	Ubicación Fija	Recursos Clave	Señalización Visual (siluetas/pictogramas)
Perforación	Frente de avance en la galería	Jumbos, taladros, aire comprimido, operadores	
Voladura	Frente minero después de la perforación	Explosivos, detonadores, cordón de seguridad	
Fortificación (sostenimiento)	Zona recién volada	Empernadoras, shotcrete, mallas metálicas	
Carguío	Frente con mineral fragmentado	Scooptrams, palas cargadoras	
Transporte	Vías principales de acarreo	Camiones mineros, locomotoras	
Servicios auxiliares	Estaciones de ventilación, bombeo y energía	Ventiladores, bombas de agua, tableros eléctricos	

Nota. Elaboración propia

5.3.3.3.2. Almacenaje por frecuencia de uso

Las estaciones de trabajo con ubicación en posición de proceso el enfoque cambia: los recursos, equipos y personal se organizan en función de la secuencia lógica de operaciones necesarias para transformar la materia prima. Este modelo permite un flujo más dinámico y coordinado

Tabla 20
Sistema de identificación visual para herramientas y materiales

Herramienta/Material	Descripción	Color etiqueta	Ubicación designada
Detonadores eléctricos	Explosivos de iniciación	Rojo con franja blanca	Gabinete de seguridad con cerradura
Mangueras de carga	Para transferencia de emulsión explosiva	Amarillo	Panel vertical con silueta
Taladros neumáticos	Equipo de perforación	Azul	Estación de mantenimiento
Equipos de medición	Vibración/gases	Verde	Módulo de control de calidad
EPPs (Cascos, arneses)	Protección personal	Verde fluorescente	Panel cerca de acceso principal

Manuales técnicos	Procedimientos de voladura	Blanco	Estantería en oficina de supervisión
-------------------	----------------------------	--------	--------------------------------------

Nota. Elaboración propia

5.3.3.3.3. *Objetivos alcanzados con Seiton*

- Optimizar el tiempo de búsqueda de herramientas y equipos mediante codificación y señalización visual.
- Mejorar la seguridad operacional al reducir riesgos por ubicación definida y pictogramas claros.
- Incrementar la productividad eliminando desplazamientos innecesarios y pérdidas de tiempo.
- Estandarizar los procesos en cada estación de trabajo, facilitando la capacitación y uniformidad operativa.
- Asegurar un control visual inmediato para detectar herramientas faltantes o fuera de lugar.

5.3.3.3.4. *Recomendaciones finales para sostener Seiton*

- Implementar paneles visuales (shadow boards) en todas las áreas para garantizar el orden de las herramientas.
- Capacitar continuamente al personal en 5S y Lean Mining, reforzando disciplina y compromiso.
- Realizar auditorías internas periódicas (semanales o mensuales) para verificar cumplimiento de Seiton.
- Aplicar indicadores visuales (KPI de Seiton) como: tiempo promedio de búsqueda, % de cumplimiento en auditorías.
- Mantener en buen estado la señalización visual, reponiendo colores, pictogramas y siluetas deterioradas.
- Incorporar Seiton en la cultura organizacional con el lema: “*un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar*”.

5.3.3.4. *Seiso (Limpiar)*

Diagnóstico: Presencia de polvo, residuos metálicos y falta de rutina de limpieza (puntaje 1/9).

Estrategias:

- Establecer “minutos de limpieza” al inicio y fin de cada turno.

Turno Diurno:

06:00-06:10 AM: Barrido general y recolección de residuos

12:30-12:40 PM: Limpieza de superficies de trabajo

Turno Nocturno:

06:00-06:10 PM: Desempolvado de equipos

11:30-11:40 PM: Revisión final de áreas

- Asignar responsabilidades específicas por cuadrilla mediante un calendario rotativo.

Tabla 21
Calendario rotativo mensual de responsabilidades

Día	Cuadrilla Turno Día	Tareas Asignadas	Cuadrilla Turno Noche	Tareas Asignadas
1	Cuadrilla A	• Limpieza estación de carga • Control de polvo en equipos	Cuadrilla B	• Recolección residuos metálicos • Desempolvado de herramientas
2	Cuadrilla C	• Limpieza de pasillos y señalización • Verificación de kits de emergencia	Cuadrilla A	• Inspección magnética de pisos • Registro en checklist
3	Cuadrilla B	• Limpieza de ventiladores y ductos • Revisión de contenedores	Cuadrilla C	• Supervisión de sellado de taladros • Control de derrames
4	Cuadrilla A	• Auditoría interna 5S • Capacitación a nuevo personal	Cuadrilla B	• Limpieza de áreas comunes • Verificación de EPPs
5	Cuadrilla C	• Limpieza de estaciones de sostenimiento • Revisión de residuos de shotcrete	Cuadrilla A	• Control de fugas en equipos móviles • Reporte de mantenimiento preventivo
6	Cuadrilla B	• Limpieza de zona de talleres subterráneos • Clasificación de residuos	Cuadrilla C	• Limpieza de almacén de explosivos • Control de inventario de detonadores
7	Cuadrilla A	• Inspección y limpieza final semanal • Validación checklist de áreas	Cuadrilla B	• Evidencia fotográfica de limpieza • Consolidación de reporte semanal

Nota. Elaboración propia

- Implementar un checklist diario de limpieza con control de supervisor.

Tabla 22
Checklist diario de limpieza de área

N°	Item a Verificar	Estándar Requerido	Observaciones
1	Pisos y superficies	Libre de polvo (>3mm), residuos metálicos y derrames	-
2	Herramientas y equipos	Sin residuos de explosivos o aceite	-
3	Señalización	Visible y sin obstrucciones (líneas amarillas/negras intactas)	-
4	Almacén de explosivos	Ordenado, con materiales en zonas designadas	-
5	Rutas de evacuación	Despejadas (ancho mínimo 1.2m)	-

6	Equipos de protección (EPPs)	Limpios y en estación designada	-
7	Ventilación y ductos	Sin acumulación de polvo	-
8	Contenedores de residuos	Correctamente sellados y etiquetados	-
9	Panel de control visual	Actualizado con checklist del día anterior	-
10	Condiciones post-voladura	Área despejada y sin fragmentos peligrosos	-

Nota. Elaboración propia

5.3.3.5. Seiketsu (Estandarizar)

Diagnóstico: No hay procedimientos ni visualización de estándares (puntaje 0/6).

Estrategias:

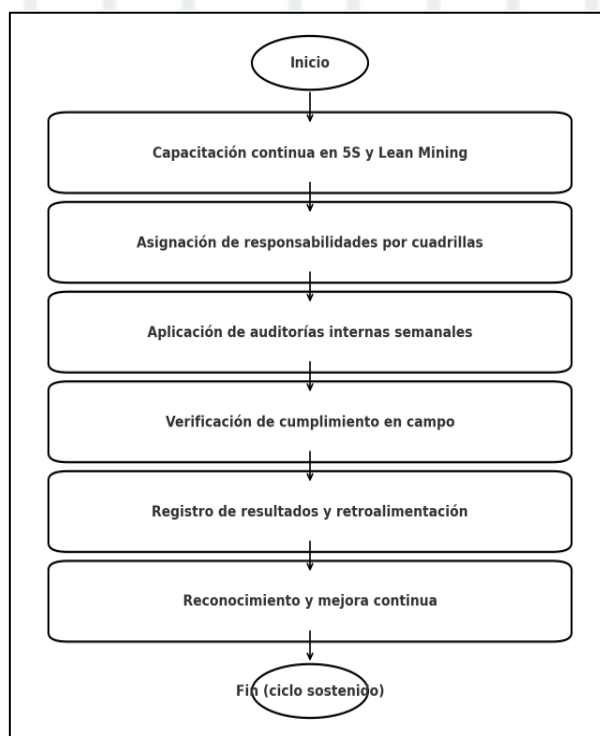
- Elaborar procedimientos escritos y visuales (instructivos A4 plastificados en cada área).

Tabla 23
Procedimiento Visuales y Escritos

Procedimiento	Elementos Visuales	Ubicación
Carga de explosivos	Diagrama de flujo	Panel en estación de carga
Limpieza post-voladura	Fotos comparativas (antes/después)	Zona de almacenamiento

Nota. Elaboración propia

Figura 39
Diagrama de flujo de carga de explosivos



Nota. Elaboración propia

Figura 40

Fotos comparativas Área de Voladura (antes/después)



Nota. Elaboración propia

- Zonificación de áreas con pintura de demarcación (zona de carga, tránsito, emergencia).

Tabla 24

Zonificación de áreas con pintura de demarcación

Zona	Color	Demarcación	Ejemplo de Aplicación
Zona de carga	Rojo/Blanco	Líneas continuas + símbolo de fuego	Almacén de emulsión bombeable
Rutas de tránsito	Amarillo/Negro	Flechas direccionales	Pasillos hacia chimeneas
Área de emergencia	Verde	Cruz blanca sobre fondo verde	Botiquines y estaciones de lavado
Equipos críticos	Azul	Silueta del equipo + código QR	Perforadoras y cargadores

Nota. Elaboración propia

Figura 41

Demarcación de áreas



Nota. Elaboración propia

- Incluir los estándares 5S en el plan de capacitación operativa.

Tabla 25

Capacitación Operativa de los Estándares 5S

Módulo	Contenido	Duración	Evaluación
Introducción a 5S	Filosofía Lean Mining y casos de éxito	2 horas	Cuestionario escrito
Seiri/Seiton	Clasificación y orden en voladura	3 horas	Práctica en zona piloto
Seiso/Seiketsu	Protocolos de limpieza y estándares	4 horas	Simulación de auditoría
Shitsuke	Sostenibilidad y disciplina	2 horas	Proyecto de mejora continua

Nota. Elaboración propia

5.3.3.6. Shitsuke (Disciplinar/Sostener)

Diagnóstico: Bajo compromiso del personal, acciones solo bajo presión (puntaje 1/6).

Estrategias:

- Crear un Comité 5S por turno con un responsable rotativo.

Tabla 26

Responsable rotativo por turno del Comité 5S

Turno	Roles	Responsabilidades	Frecuencia de Rotación
Día	Líder 5S (Supervisor)	Verificar cumplimiento de checklist y reportar hallazgos	Mensual
	Operario Voladura	Inspeccionar zonas críticas (ej: almacenes explosivos)	Semanal
Noche	Encargado Mantenimiento	Validar limpieza de equipos y señalización	Mensual
	Representante SSOMA	Asegurar cumplimiento normativo en demarcaciones	Semanal

Nota. Elaboración propia

- Evaluaciones mensuales con reconocimientos simbólicos a las mejores áreas.

Tabla 27

Evaluaciones mensuales con reconocimientos simbólicos a las mejores áreas.

Categoría	Indicador	Peso (%)
Cumplimiento de 5S	% de ítems OK en checklist	60
Mejoras implementadas	Nº de ideas aplicadas (ej: shadow boards)	30
Trabajo en equipo	Encuesta anónima entre compañeros	10

Nota. Elaboración propia

- Integrar prácticas 5S en el proceso de inducción para nuevos trabajadores.

Implementar evaluaciones con:

Teoría:

Video de 15 min: "Cómo las 5S redujeron accidentes en nuestra mina" (caso real).

Práctica:

Ejercicio: Ordenar herramientero en ≤ 5 min usando shadow boards.

Evaluación:

Prueba oral sobre ubicación de EPPs y zonas críticas.

5.3.4. Fase 3: Verificar

5.3.4.1. Seiri (Clasificar)

Se tiene como objetivo identificar y separar los materiales, herramientas y equipos necesarios de aquellos que no aportan valor en el proceso.

Tabla 28

Check list de Criterio de evaluación

Nº	Criterio de Evaluación	Cumple (✓)	No Cumple (X)	Observaciones
1	Materiales innecesarios retirados del frente de trabajo			
2	Herramientas obsoletas o dañadas segregadas			
3	Residuos acumulados eliminados			
4	Área de trabajo libre de elementos ajenos a la labor			
5	Implementada zona de descarte temporal señalizada			

Nota. Elaboración propia

5.3.4.2. Seiton (Ordenar)

Diagnóstico: Herramientas sin ubicación definida, tiempo de búsqueda alto, ausencia de orden lógico (puntaje 5/9).

Estrategia 1: Establecer estaciones de trabajo con señalización. Formato de Control:

Tabla 29

Formato de Control de estaciones de trabajo con señalización

Estación de Trabajo	Elementos Incluidos	Señalización Visual Instalada	Responsable	Última Revisión	Observaciones
Zona de carga explosiva	Herramientas de carga, guantes, conos	Sí- Pictogramas y color rojo			

Estación de perforación	Taladros, brocas, lubricantes	Sí -Etiquetas + siluetas			
Almacén temporal	Materiales semanales	No			
Herramientas manuales	Martillos, llaves, alicates	Parcial– Falta zona de sombra			
Zona de limpieza	Escobas, recogedores, toallas absorbentes	Sí – Códigos de color			

Nota. Elaboración propia

Estrategia 2: Aplicar “almacenaje por frecuencia de uso”. Formato de Control:

Tabla 30

Formato de Control de Material según frecuencia de uso

Código	Nombre del Material / Herramienta	Frecuencia de Uso	Zona Asignada	Observación
H001	Detonadores eléctricos	Alta (diaria)	Estación A	Ubicado correctamente
H002	Manguera de carga	Media (semanal)	Estantería 2	Requiere señalización
H003	Cables de voladura	Alta (diaria)	Zona prioritaria	En uso continuo
H004	Lubricante para jumbos	Baja (mensual)	Almacén central	Aislado en zona adecuada
H005	Manual técnico voladura	Media (semanal)	Cajón gris B	Requiere laminado

Nota. Elaboración propia

Estrategia 3: Uso de codificación por colores y QR. Formato de Control:

Tabla 31

Formato de Control de codificación por colores y QR

Material / Herramienta	Color Asignado	Código QR Generado	Zona Asignada	Última Verificación	Observaciones
Taladro neumático DT-230	Rojo (uso diario)	Sí – QR activo	Estación A		
Manguera de carga mediana	Amarillo (uso semanal)	No– pendiente	Estantería 2		
Detector de gas portátil	Verde (uso eventual)	Sí– QR visible	Zona técnica		
Llave inglesa grande	Rojo	Sí	Módulo herramientas		
Manual técnico perforación	Verde	No – en trámite	Oficina técnica		

Nota. Elaboración propia

5.3.4.3. Seiso (Limpiar)

Diagnóstico: Presencia de polvo, residuos metálicos y falta de rutina de limpieza (puntaje 1/9).

Estrategia 1: “Minutos de limpieza” por turno Formato de Control:

Tabla 32

Formato de Control de ‘Minutos de Limpieza’

Fecha	Turno	Zona Asignada	Hora de Inicio	Hora de Fin	Tareas Realizadas	Firma Supervisor
	Día	Zona de carga	06:00 a.m.	06:10 a.m.	Barrido general, recolección de restos	_____
	Noche	Estación de herramientas	06:00 p.m.	06:12 p.m.	Acomodo, retiro de residuos metálicos	_____
	Día	Zona de tránsito	06:05 a.m.	06:15 a.m.	Limpieza de derrames, organización de conos	_____
	Noche	Taller de explosivos	06:00 p.m.	06:09 p.m.	Limpieza de estanterías y pasillos	_____

Nota. Elaboración propia

Estrategia 2: Asignar responsabilidades por cuadrilla. Formato de Control:

Tabla 33

Formato de Control de Responsabilidades por cuadrilla

Semana	Cuadrilla	Turno	Zona Asignada	Tareas de Limpieza Asignadas	Firma del Supervisor
1	A	Día	Zona de carga	Barrido, recolección de restos y etiquetado	_____
1	B	Noche	Estación de herramientas	Limpieza de estanterías, orden de herramientas	_____
2	C	Día	Zona de tránsito	Limpieza de pasillos, retiro de objetos sueltos	_____
2	A	Noche	Taller de explosivos	Desempolvado de superficies y barrido	_____

Nota. Elaboración propia

Estrategia 3: Checklist diario de limpieza Formato de Control:

Tabla 34

Formato de Control de Checklist diario de limpieza

Fecha	Zona	Turno	Ítems Verificados	Cumple (✓ / X)	Observaciones
01/06/2024	Zona de carga	Día	Suelo limpio, sin residuos metálicos	✓	
01/06/2024	Estación herramientas	Noche	Herramientas ordenadas, superficies limpias	X	Restos metálicos en esquina
02/06/2024	Zona de tránsito	Día	Señalización visible, pasillos sin obstáculos	✓	
02/06/2024	Taller explosivos	Noche	Estantes libres de polvo, piso barrido	✓	

Nota. Elaboración propia

5.3.4.4. Seiketsu (Estandarizar)

Diagnóstico: No hay procedimientos ni visualización de estándares (puntaje 0/6).

- Estrategia 1: Procedimientos visuales (A4 plastificados)

Tabla 35

Formato de Control de Procedimientos visuales

Procedimiento Instalado	Zona / Ubicación	Estado del Material (Bueno / Dañado)	Legible (Sí / No)	Observaciones
Instructivo: Carga de explosivos	Estación de carga	Bueno	Sí	OK
Procedimiento: Limpieza de área	Estación herramientas	Dañado (esquina rota)	Sí	Requiere reposición
Secuencia: Almacenaje seguro	Taller de explosivos	Bueno	No	Texto borroso, cambiar impresión
Formato: Revisión de checklist	Zona de tránsito	Bueno	Sí	OK

Nota. Elaboración propia

- Estrategia 2: Zonificación por colores Formato de Control:

Tabla 36*Formato de Control de Zonificación por colores*

Zona Evaluada	Color Aplicado	Función de la Zona	Estado del Color (Bueno / Dañado)	Señalización Complementaria	Observaciones
Zona de carga	Rojo	Riesgo / Material peligroso	Bueno	Sí (cartel + cinta reflect.)	OK
Pasillo de tránsito	Azul	Circulación peatonal	Desgastado	Parcial	Pintura requiere retoque
Área de herramientas	Verde	Operación / herramienta	Bueno	Sí	OK
Zona de emergencia	Amarillo	Acceso a equipo de emergencia	Dañado	No	Falta cartel de "Solo personal autorizado"

Nota. Elaboración propia

- Estrategia 3: Capacitación con estándares 5S Formato de Control:

Tabla 37*Formato de Control de Capacitación con estándares 5S*

Elemento	Descripción	Observación
Instructivo A4	Carga de explosivos	Pegado en pared zona 3
Zonificación	Línea roja: tránsito; azul: carga	Implementado en junio
Capacitación	5S en el plan semanal	Primera sesión realizada

Nota. Elaboración propia

5.3.4.5. Shitsuke (Disciplina/Sostener)

Diagnóstico: Bajo compromiso del personal, acciones solo bajo presión (puntaje 1/6).

- Estrategia 1: Comité 5S por turno Formato de Control:

Tabla 38*Ejemplo de formato de Control de Comité 5S por turno*

Fecha	Tema de Capacitación	Área / Participantes	Evidencia Generada	Observaciones
01/06/2024	Fundamentos del sistema 5S	Voladura – Turno Día	Lista de asistencia, fotos	Buen nivel de participación
03/06/2024	Aplicación de Seiri y Seiton	Herramientas – Turno Noche	Acta de capacitación	Requiere reforzar uso de etiquetas
05/06/2024	Estándares visuales 5S	Taller de explosivos	Videos, firma participantes	Excelente recepción por el equipo

Nota. Elaboración propia

- Estrategia 2: Evaluaciones y reconocimientos mensuales Formato de Control:

Tabla 39

Ejemplo de formato de Control de Evaluaciones y reconocimientos mensuales

Mes / Año	Área / Cuadrilla Evaluada	Puntaje Obtenido (de 36)	Nivel de Desempeño	Reconocimiento Otorgado	Observaciones
Mayo 2024	Cuadrilla A – Turno Día	31 / 36	Excelente	Diploma + reconocimiento verbal	Buen cumplimiento de señalización y orden
Mayo 2024	Cuadrilla B – Turno Noche	25 / 36	Aceptable	Mención honorífica	Mejora en limpieza pero falta codificación visual
Mayo 2024	Taller de explosivos	18 / 36	Deficiente	—	Requiere intervención y plan de mejora urgente

Nota. Elaboración propia

- Estrategia 3: Inducción con enfoque en 5S Formato de Control:

Tabla 40

Ejemplo de formato de Control de Inducción con enfoque en 5S

Fecha	Nombre del Trabajador	Cargo / Área Asignada	Turno	Contenido Cubierto	Firma del Participante
	Carlos Mamani	Ayudante de voladura	Día	Fundamentos 5S, Seiri, Seiton	_____
	Ana Condori	Operaria herramientas	Noche	Seiso, señalización, checklist	_____
	Jorge Huanca	Técnico de explosivos	Día	Estandarización y disciplina	_____

Nota. Elaboración propia

5.3.5. Fase 4: Actuar

Dado que el presente estudio se limita a un enfoque propositivo, esta fase plantea las acciones sugeridas para una futura implementación sostenible del sistema 5S en la zona de carga y preparación de voladuras:

- **Formalización del Comité 5S:** Propuesta de crear un equipo rotativo por turnos con roles definidos para la supervisión de estándares y auditorías internas.
- **Calendario de evaluación mensual:** Sugerencia de aplicar auditorías periódicas con herramientas visuales (formato tipo checklist) y puntuación estandarizada.
- **Integración al proceso de inducción:** Incluir la filosofía y estándares 5S como parte de los programas de capacitación para nuevo personal y contratistas.

- **Escalamiento a otras áreas críticas:** Una vez validados los resultados en la zona piloto, se recomienda expandir gradualmente la metodología a áreas como perforación, mantenimiento y almacenes.
- **Revisión continua y retroalimentación:** Establecer reuniones de evaluación (post-proyecto) para revisar los aprendizajes y rediseñar estándares si es necesario.

5.4. Integración con Otras Herramientas Lean Mining Propuestas

Aunque la metodología 5S es el eje principal de esta propuesta de mejora, se plantea complementar su impacto con el uso de herramientas Lean Mining factibles de aplicar con base en la información levantada en el diagnóstico:

5.4.1. Estandarización de Protocolos

Objetivo: Uniformizar procedimientos para asegurar uniformidad y minimizar errores.

Se propone formatos de checklists de protocolos de cada etapa.

Tomando en consideración:

- **Responsables:** Supervisores de voladura, geomecánica y seguridad (SSOMA).
- **Frecuencia:** Antes, durante y después de cada voladura.
- **Documentación:** Archivar checklists en el sistema de gestión de la mina.

5.4.1.1. Clasificación (Seiri)

- **Cómo se usa:** Identificación y segregación de materiales y herramientas necesarias.
- **Por qué se recomienda:** Evita la acumulación de elementos que generan desorden y riesgos en labores subterráneas.
- **Quién aplica:** Operadores y cuadrillas de turno.
- **Quién revisa:** Supervisor de área + Auditor interno.

5.4.1.2. Orden (Seiton)

- **Cómo se usa:** Asignación de ubicaciones fijas con señalización visual (colores y pictogramas).
- **Por qué se recomienda:** Reduce tiempos de búsqueda y mejora la seguridad.
- **Quién aplica:** Operadores de cuadrilla.
- **Quién revisa:** Supervisor de operaciones.

5.4.1.3. Limpieza (Seiso)

- **Cómo se usa:** Limpieza rutinaria de frentes, talleres y equipos móviles.
- **Por qué se recomienda:** Previene incidentes y aumenta la vida útil de los equipos.
- **Quién aplica:** Cuadrillas asignadas (día/noche).
- **Quién revisa:** Supervisor de mantenimiento y seguridad.

5.4.1.4. Estandarización (Seiketsu)

- **Cómo se usa:** Protocolos de señalización, codificación de colores, uso de checklist.
- **Por qué se recomienda:** Mantiene uniformidad en todas las labores subterráneas.
- **Quién aplica:** Todas las cuadrillas.
- **Quién revisa:** Área de planeamiento y seguridad.

5.4.1.5. Disciplina (Shitsuke)

- **Cómo se usa:** Auditorías internas, capacitaciones periódicas, reconocimiento al cumplimiento.
- **Por qué se recomienda:** Garantiza sostenibilidad de la mejora.
- **Quién aplica:** Todo el personal operativo.
- **Quién revisa:** Gerencia de operaciones y seguridad.

5.4.1.6. Protocolo de perforación

Tabla 41
Formato de Protocolo de perforación

Ítem	Descripción	Cumple (✓/X)	Observaciones
Alerta de evacuación	Activar sirena/alarma y confirmar que todo el personal escucha la señal.		
Rutas de salida	Verificar que las vías de evacuación están despejadas y señalizadas.		
Puntos de reunión	Confirmar que el personal se dirige al punto de reunión designado.		
Conteo de personal	Realizar roll call para asegurar que no queda nadie en la zona de riesgo.		
Revisión post-evacuación	Evaluar condiciones de seguridad antes de reingresar al área.		

Nota. Elaboración propia

5.4.1.7. Protocolo de carga de explosivos

Tabla 42

Formato de Protocolo de carga de explosivos

Ítem	Descripción	Cumple (✓/X)	Observaciones
Tipo de explosivo	Confirmar que el explosivo seleccionado coincide con el diseño (ej: emulsión bombeable).		
Carga por taladro	Asegurar que la cantidad de explosivo por taladro no excede lo planificado.		
Colocación de detonadores	Verificar que los detonadores están instalados correctamente (secuencia y retardo).		
Sellado de taladros	Comprobar que los taladros están sellados con material inerte (ej: arena).		
Inspección final	Realizar una revisión visual para detectar anomalías antes de la conexión.		

Nota. Elaboración propia

5.4.1.8. Protocolo de voladura

Tabla 43

Formato de Protocolo de voladura

Ítem	Descripción	Cumple (✓/X)	Observaciones
Zona de seguridad	Confirmar que el área está evacuada y demarcada con señalización.		
Conexión del circuito	Verificar que el circuito de voladura está conectado según el diseño (serie/paralelo).		
Comunicación	Asegurar que todos los equipos están informados vía radio antes de la detonación.		
Monitoreo de vibraciones	Activar sistemas de monitoreo de vibraciones y gases post-voladura.		
Registro de eventos	Documentar hora, coordenadas y resultados de la voladura.		

Nota. Elaboración propia

5.4.1.9. Protocolo de evacuación

Tabla 44

Formato de Protocolo de evacuación

Item	Descripción	Cumple (✓/X)
Alerta de evacuación	Activar sirena/alarma y confirmar que todo el personal escucha la señal.	
Rutas de salida	Verificar que las vías de evacuación están despejadas y señalizadas.	

Puntos de reunión	Confirmar que el personal se dirige al punto de reunión designado.	
Conteo de personal	Realizar roll call para asegurar que no queda nadie en la zona de riesgo.	
Revisión post-evacuación	Evaluar condiciones de seguridad antes de reingresar al área.	

Nota. Elaboración propia

5.4.2. Gestión Visual

Objetivo: Garantizar la eficiencia operativa, la seguridad del personal y la estandarización de procedimientos, transformar la información crítica en elementos intuitivos y facilitando la toma de decisiones en tiempo real. Se propone la aplicación de señalética, codificación por colores y tableros visibles para mejorar la comunicación en zonas críticas.

Tomando en consideración:

- **Responsables:** Supervisor de SSOMA, jefes de turno y comité de gestión visual.
- **Frecuencia:** Revisión semanal y auditoría mensual.
- **Acciones correctivas:** Reemplazar señalética dañada en 24 horas y capacitar al personal si hay desviaciones.

5.4.2.1. Señalética en Áreas Claves

Tabla 45
Formato Control de Señalética en Áreas Claves

Ítem	Descripción	Cumple (✓/X)	Observaciones
Zonas de riesgo	Señales de "Peligro: Zona de Voladura" y "Prohibido el Paso" instaladas en accesos.		
Rutas de evacuación	Flechas y carteles visibles que indican vías de escape (color verde fluorescente).		
Ubicación de equipos	Señales para ubicación de extintores, botiquines y equipos de emergencia.		
Puntos de reunión	Carteles con identificación de zonas seguras post-evacuación (ej: "Punto de Reunión A").		
Instrucciones operativas	Procedimientos de voladura en formato A3 plastificado (ej: "Pasos para carga de explosivos").		

Nota. Elaboración propia

5.4.2.2. Codificación por Colores

Tabla 46

Formato Control de Codificación por Colores

Ítem	Descripción	Cumple (✓/X)	Observaciones
Tuberías y cables	- Rojo: Líneas de aire comprimido. - Amarillo: Energía eléctrica. - Azul: Agua.		
Almacén de explosivos	- Rojo/Blanco: Material peligroso (explosivos). - Verde: Equipos de seguridad.		
Herramientas	- Etiquetas rojas: Herramientas defectuosas. - Verdes: En buen estado.		
Zonas de trabajo	- Amarillo/negro: Límites de áreas restringidas. - Blanco: Zonas de tránsito.		
Equipos de protección	Casco (color por rol): - Amarillo: Operarios. - Rojo: Supervisores. - Azul: Mantenimiento.		

Nota. Elaboración propia

5.4.2.3. Tableros visuales

Tabla 47

Formato Control de Tableros visuales

Ítem	Descripción	Cumple (✓/X)	Observaciones
Tablero de programación	Muestra: -Labores programadas para voladura. -Turnos responsables - Metas diarias (ej: 19 disparos/día).		
Indicadores KPI	Gráficos actualizados de: -Avance(m/disp). -Factor de carga (kg/m). - Cumplimiento de metas.		
Alertas de seguridad	Panel con: -Incidentes recientes. -Medidas correctivas. - Estado de equipos críticos.		
Responsabilidades	Lista de responsables por área -Geomecánica. -Operaciones. - SSOMA.		
Sistema Andon	Luces o semáforos para alertar: - Verde: Operación normal. - Amarillo: Alerta. - Rojo: Parada de emergencia.		

Nota. Elaboración propia

5.4.2.4. Verificación general

Tabla 48

Formato Control de Verificación general

Ítem	Descripción	Cumple (✓/X)	Observaciones
Visibilidad	Confirmar que toda señalética es legible (sin desgaste ni obstrucciones).		
Actualización	Revisar fechas en tableros (ej: KPI del mes vigente).		
Participación del personal	Encuesta rápida: ¿El equipo comprende los códigos de colores y señales?		
Cumplimiento normativo	Verificar que cumple con estándares OSHA/ISO 45001.		

Nota. Elaboración propia

5.4.3. Reuniones de Coordinación Inter-áreas

Objetivo: Garantizar la alineación estratégica, la resolución proactiva de problemas y la integración eficiente de los flujos de trabajo entre los distintos departamentos involucrados.

Donde se propone establecer reuniones diarias o semanales entre geomecánica, planeamiento y operaciones.

Tomando en consideración:

- **Frecuencia:** Diaria para turnos operativos / semanal para planificación estratégica.
- **Herramientas complementarias:** Tableros Kanban físicos o digitales (ej: Trello) para seguimiento.

5.4.3.1. Pre – reunión

Tabla 49

Formato Control de Pre – reunión

Ítem	Descripción	Cumple (✓/X)	Observaciones
Agenda definida	Temas alineados a KPI de voladura		
Datos actualizados	Reportes de producción cargados		
Participantes clave	Confirmar asistencia de áreas clave		

Nota. Elaboración propia

5.4.3.2. Durante la reunión

Tabla 50

Formato Control de Durante la reunión

Ítem	Descripción	Cumple (✓/X)	Observaciones
Revisiones métricas	Analizar % cumplimiento disparos		
Identificación problemas	Discutir causas raíz de fallas		
Plan de acción	Asignar tareas con plazos		

Nota. Elaboración propia

5.4.3.3. Post – reunión

Tabla 51

Formato Control de Post – reunión

Ítem	Descripción	Cumple (✓/X)	Observaciones
Minuta documentada	Enviar acuerdos en 24h		
Seguimiento	Verificar avances en próxima reunión		

Nota. Elaboración propia

5.4.3.4. Indicadores de efectividad

Tabla 52

Formato Control de Indicadores de efectividad

Ítem	Descripción	Cumple (✓/X)	Observaciones
Tiempo de reunión	≤30 minutos		
Tareas completadas	≥80% cerradas en plazo		
Reducción incidentes	Disminución disparos fallidos		

Nota. Elaboración propia

5.4.4. Kaizen / Hoshin Kanri

Implementar un sistema que permita alinear las mejoras operativas obtenidas en campo (Kaizen) con los objetivos estratégicos de la empresa (Hoshin Kanri), asegurando sostenibilidad, seguridad y eficiencia en el proceso de voladura y operaciones mineras. Alinear las mejoras operativas con los objetivos estratégicos de la empresa (Hoshin Kanri).

5.4.4.1. Hoshin Kanri – Dirección estratégica

- Definir objetivos estratégicos de la empresa (ejemplo: reducción de paradas no programadas, incremento en eficiencia de voladura).
- Traducirlos en **metas medibles** para las áreas operativas (ejemplo: aumentar 10% el cumplimiento de voladuras programadas en 6 meses).
- Desplegar los objetivos a cada cuadrilla mediante tableros visuales y reportes semanales.

5.4.4.2. Kaizen – Mejora continua operativa

- Reuniones de análisis post-voladura (aprendizajes inmediatos).
- Identificación de problemas, causas raíz y propuestas de mejora.
- Estandarización de las mejores prácticas identificadas.
- Registro en formatos de lecciones aprendidas y actualización de protocolos.

Tabla 53

Planificación estratégica (Integración Kaizen – Hoshin Kanri)

Nivel	Acción principal	Frecuencia	Participantes	Herramienta/Producto
Estratégico	Definir objetivos globales de mejora	Anual	Gerencia, Jefes de área	Plan estratégico – Hoshin Kanri
Táctico	Traducir objetivos en metas de área	Trimestral	Planeamiento, Supervisores	Dashboard de metas y KPIs
Operativo	Reuniones post-voladura para identificar mejoras	Mensual	Supervisores de voladura, cuadrillas, seguridad	Actas de reunión, Dashboard Kaizen
Ejecución	Aplicación y prueba de mejoras operativas	Continua	Cuadrillas en frente de trabajo	Protocolos actualizados
Control	Auditorías internas y retroalimentación	Mensual	Supervisores + Seguridad	Reportes de cumplimiento

Nota. Elaboración propia

5.4.5. Matriz de Habilidades del Personal

Propuesta de implementar un sistema de clasificación por competencias técnicas.

5.4.5.1. Paso 01: Identificación de competencias críticas

- Definir las habilidades técnicas esenciales para cada etapa del proceso de voladura (ej: perforación, carga de explosivos, detonación, evaluación post-voladura).

- Incluir competencias transversales como seguridad, manejo de equipos y resolución de problemas.

5.4.5.2. Paso 02: Evaluación del personal

- Realizar una evaluación inicial para determinar el nivel de competencia de cada trabajador en las áreas clave.
- Utilizar métodos como pruebas teóricas, simulaciones prácticas y observación directa en campo.

5.4.5.3. Paso 03: Elaboración de la matriz de habilidades

- Crear una matriz visual que clasifique al personal según su nivel de competencia (ej: "Básico", "Intermedio", "Avanzado").
- Incluir fechas de capacitación y certificaciones vigentes.

5.4.5.4. Paso 04: Capacitación y certificación

- Diseñar programas de capacitación específicos para cerrar brechas de habilidades.
- Establecer un sistema de certificación que valide las competencias adquiridas, con renovaciones periódicas.

5.4.5.5. Paso 05: Actualización continua

- Revisar y actualizar la matriz trimestralmente para reflejar nuevos aprendizajes, cambios en procedimientos o incorporación de personal.

Utilidad para asignar tareas críticas solo a personal capacitado.

Tabla 54
Matriz de Habilidades del Personal

Tarea Crítica	Nivel Requerido	Competencias Específicas	Herramientas/ Equipos	Restricciones
Diseño de patrones de perforación	Avanzado	-Análisis geomecánico -Uso de software de diseño (ej: Deswik)	Software de planificación	Solo ingenieros senior
Carga manual de explosivos	Avanzado	-Manejo de emulsiones -Protocolos SERNAGEOMIN	Kit de carga manual	Personal con licencia vigente
Operación de jumbos	Intermedio	-Certificación OEM -Interpretación de planos	Perforadora hidráulica	Máx. 8h/turno
Detonación electrónica	Avanzado	-Sistema de retardos -Análisis de vibraciones	Detonadores electrónicos	2 personas certificadas mínimo

Mantenimiento de equipos	Intermedio	-Re portabilidad y de programación mantenimientos -Diagnóstico de fallas	Herramientas especializadas	Equipo mantenimiento asignado
Supervisión de voladura	Avanzado	-Gestión de riesgos - Primeros auxilios	Kit de monitoreo ambiental	Supervisor con 5+ años de experiencia

Nota. Elaboración propia

5.5. Indicadores de Seguimiento y Control

- KPI's propuestos para evaluar la sostenibilidad de la mejora

Tabla 55

Indicadores de Seguimiento y Control

KPI	Fórmula/Cálculo	Meta	Objetivo
% Cumplimiento de Voladuras	$(N^{\circ} \text{ voladuras ejecutadas} / N^{\circ} \text{ programadas}) \times 100$	$\geq 90\%$	Medir eficiencia en la ejecución del proceso.
Tiempo de Ciclo de Voladura	Tiempo total (perforación a limpieza)	Reducir 20%	Optimizar productividad y reducir tiempos muertos.
Fragmentación Óptima	% de material con tamaño adecuado (ej: <50cm)	$\geq 85\%$	Mejorar eficiencia en carguío y transporte.
Uso de Explosivos (kg/ton)	Total explosivos / Tonelaje fragmentado	≤ 0.28 kg/ton	Reducir costos y desperdicios.
Disponibilidad de Equipos	$(\text{Horas operativas} / \text{Horas programadas}) \times 100$	$\geq 85\%$	Garantizar mantenimiento preventivo efectivo.
Incidentes de Seguridad	$N^{\circ} \text{ incidentes} / N^{\circ} \text{ voladuras ejecutadas}$	0	Minimizar riesgos laborales.

Nota. Elaboración propia

- Frecuencia y responsables de la evaluación

Tabla 56

Frecuencia y responsables de la evaluación

KPI	Frecuencia	Responsable	Herramienta de Medición
% Cumplimiento de Voladuras	Diaria	Supervisor de Operaciones	Reporte de producción
Tiempo de Ciclo de Voladura	Semanal	Jefe de Planeamiento	Registros de tiempo (ERP/Sistema de campo)
Fragmentación Óptima	Por voladura	Geomecánica	Análisis granulométrico
Uso de Explosivos	Mensual	Ingeniero de Costos	Sistema de inventarios
Disponibilidad de Equipos	Semanal	Jefe de Mantenimiento	Reporte de equipos
Incidentes de Seguridad	Inmediato	SSOMA	Reporte de incidentes

Nota. Elaboración propia

- Plan de monitoreo a 3, 6 y 12 meses

Tabla 57

Plan de monitoreo a 3, 6 y 12 meses

Periodo	Enfoque	Acciones Clave
3 meses	Validación inicial de mejoras	- Ajustar protocolos basados en datos reales. - Capacitación adicional en 5S.
6 meses	Consolidación de estándares	- Auditoría interna Lean Mining. - Optimización de KPIs (ej: ajustar meta de fragmentación).
12 meses	Sostenibilidad e integración con otros procesos	- Benchmarking con otras unidades mineras. - Automatización de reportes (ej: dashboards BI).

Nota. Elaboración propia

- Cronograma de implementación – Optimización de voladuras con Lean Mining

Tabla 58

Frecuencia y responsables de Cronograma de implementación – Optimización de voladuras con Lean Mining

Actividad	Mes 1-2	Mes 3-6	Mes 7-12	Responsable
Diagnóstico inicial	X			Consultor Lean
Capacitación inicial	X			RRHH/Consultor
Implementación 5S piloto		X		Supervisor Calidad
Monitoreo KPIs inicial		X		Ingeniero Procesos
Escalamiento a otras áreas			X	Gerente Operaciones
Automatización de procesos			X	Departamento TI
Evaluación final			X	Comité Directivo

Nota. Elaboración propia

5.6. Consideraciones para la Implementación Real

- Requerimientos logísticos y humanos

Tabla 59

Requerimientos logísticos y humanos

Recurso	Descripción
Humanos	Jefe de Proyecto (Ingeniero de Minas Senior): Ingeniero de Planeamiento Supervisor de Voladura Operadores y Perforistas Equipo de Seguridad y Medio Ambiente
Equipos	Software de gestión y control (MS Project, Power BI o similar) Materiales para señalización visual (vinilos, paneles, tableros). Equipos de medición y control (medidor láser, tabletas para checklist). Capacitación Lean Mining
Infraestructura	Zona piloto con señalización 5S Taller de mantenimiento equipado

Nota. Elaboración propia

- Estimación de recursos

Tabla 60

Estimación de Recursos Humanos, Materiales y Equipos

Categoría	Concepto	Detalle y justificación	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Recursos Humanos	Capacitación Lean Mining (5S, Kaizen, VSM)	Curso de 144 h por 6 meses, dictado por SGS Peru. 5,400 por tema (16,200) Área de planeamiento: 10 Área de operaciones: 20 Área de voladura: 10 Área de obreros: 30	70	16,200	1,134,000.00
	Capacitación en seguridad de explosivos	Taller certificado por Famesa Explosivos, costo promedio S/. 750 por operario. Participarán: Área de obreros: 30 Área de voladura: 10 Área de operaciones: 20	60	750	45,000.00
	Protocolos estandarizados	Redacción de manuales, formatos de checklist plastificados, anualmente (ZM Safety Consulting)	18,250 unidades	6.411	117,000.00
	Subtotal Recursos Humanos				1,296,000.00
Equipos e Insumos	Señalización visual y demarcación	Pintura epóxica y servicio de pintado (IMC del Perú — Pintura industrial y anticorrosiva) Servicio pintura Carteles vinílicos de seguridad, con láminas 3M (Tecnología Industrial Peruana (TECIP) Cintas reflectivas (Cinta reflectiva 3M 983-71 Amarilla, 2" × 45.7 m/ Cinta reflectiva 3M EG Blanco 4" × 45.7 m)/ (Tecnología Industrial Peruana (TECIP)	24 servicios 100 carteles 365 cintas (blancas/amarillas)	6,000 40 450	6,490.00
	Software de control y tableros visuales	Licencia Power BI Pro (microsoft) Área de planeamiento: 5 Área de operaciones: 10 Área de voladura: 5	20 usuarios	622	12,440.00
	Reporte de Jumbos para mantenimiento preventivo	Cambio de mangueras hidráulicas, filtros de aire, lubricantes y grasas industriales con la empresa RESEMIN (4 equipos) c/u (250 horas) (2,000 dólares) (dólar a 3.7))	1000 horas	7,400	7,400,000.00
	Subtotal Equipos e Insumos				7,418,930.00
TOTAL GENERAL					8,714,930.00

Nota. Elaboración propia

- Riesgos potenciales y medidas de mitigación

Tabla 61

Riesgos potenciales y medidas de mitigación

Riesgo	Impacto	Mitigación
Resistencia al cambio del personal	Alto	- Comunicación clara de beneficios. - Incentivos por cumplimiento de KPIs.
Fallas en equipos de monitoreo	Medio	-Contrato de mantenimiento preventivo con proveedores. - Stock de repuestos.
Exceso de datos no accionables	Bajo	-Dashboard simplificado con alertas automáticas.
Retrasos en aprobación de permisos	Alto	-Protocolo de seguimiento documental con SSOMA.

Nota. Elaboración propia



CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA

Para realizar la evaluación económica de la propuesta es necesario conocer principalmente el costo por disparo en el proceso estudiado, este costo está conformado por costo directos e indirectos, los cuales se detallan en los siguientes puntos.

6.1. Costos directos e indirectos por turno por disparo

Por cada disparo se tienen costos directos e indirectos, los cuales nos ayudaran a calcular cuánto invierte la compañía en realizar los 19 disparos planeados por turno, donde se observa que si no se llega a completar lo proyectado será un costo sin beneficio y se sumaría a ello una penalidad por parte de nuestro cliente.

Para poder calcular los costos por disparo se tiene en consideración los siguientes datos:

- Frente de desarrollo: 3.5 m × 3.5 m
- Avance por disparo: 3.0 m
- Número de taladros: 38 – 42 (promedio 40)
- Tipo de explosivo: Emulsión encartuchada + ANFO
- Turno: 10 horas

6.1.1. Costos directos por turno

6.1.1.1. Mano de obra directa

Tabla 62

Costo de mano de obra que interviene en el proceso de voladura

Cargo	Cantidad	Unidad	Costo del jornal (S/.)	Costo /voladura (S/.)
Operador de equipo jumbo (Perforista)	1	disparo	133	7
Vigía (Ayudante de perforación)	1	disparo	100	5.26
Cargador de explosivos	1	disparo	110	5.79
Ayudante de voladura	1	disparo	100	5.26
Supervisor de Operaciones	1	disparo	150	7.90
Subtotal Mano de Obra	—	—	—	31.21

Nota. elaboración propia.

6.1.1.2. Explosivos y accesorios (19 disparos)

Tabla 63

Costo de explosivos y accesorios por disparo

Insumo	Cantidad por disparo	Cantidad total por turno (19 disparos)	Unidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Emulsión encartuchada	180	3,420	kg	7.50	1,350.00
ANFO	60	1,140	kg	4.50	270.00
Detonadores eléctricos	40	760	und	18.00	720.00
Cordón detonante	45	855	m	6.00	270.00
Booster	40	760	und	9.00	360.00
TOTAL EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS	—	—	—	—	2,970.00

Nota. elaboración propia

6.1.1.3. Equipos, energía y mantenimiento

Tabla 64

Costos de equipos, energía y mantenimiento por disparo

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
Jumbo / Jackleg	4	H	100.00	400.00
Compresor / energía	6	H	65.00	390.00
Diésel	25	Gal	9.00	225.00
Mantenimiento de perforación	1	Servicio	(15,000*2)/30=250	250.00
Subtotal Equipos y Energía	—	—	—	1,265.00

Nota. elaboración propia

6.1.2. Costos indirectos por disparo

6.1.2.1. Soporte y gestión

Tabla 65

Costos de soporte y gestión por disparo

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
Ingeniería y planeamiento	1	disparo	140.00	140.00
Administración	1	disparo	130.00	130.00
Logística y transporte interno	1	disparo	140.00	140.00
Campamento y bienestar	1	disparo	120.00	120.00
Seguridad y permisos	1	disparo	140.00	140.00
Gestión ambiental	1	disparo	130.00	130.00
Subtotal Costos Indirectos	—	—	—	800.00

Nota. Elaboración propia

6.1.3. Costo total del proceso de voladura por disparo

Tabla 66

Costo total por disparo

Resumen	Costo (S/.)
Total Costos Directos (31.21+2,970+1,265)	4,266.21
Total Costos Indirectos (800)	800.00
Costo Total por Disparo	5,066.21

Nota. elaboración propia

6.2. Ventas anuales de disparos programados

La compañía minera en estudio recibe por cumplir con la programación de disparos al día (38) la cantidad de S/2,541 millones, por lo que por cada disparo el cliente paga S/. 66,868. Si no se llega a cumplir con la programación de disparos se resta el valor del disparo.

Tabla 67

Ventas anuales de disparos programados

Concepto	Valor estimado
Ventas anuales estimadas de Chungar (2024)	US\$ 247 millones
Promedio mensual simple	US\$ 247 M ÷ 12 = US\$ 20.6 millones/mes
En soles (S/.) aprox. *	US\$ 20.6 M × S/ 3.7 = S/ 76.2 millones/mes

Nota. Tipo de cambio aproximado utilizado: S/ 3.7 por dólar

6.3. Costos de Implementación de la propuesta

La propuesta requiere una inversión inicial destinada principalmente a recursos humanos especializados, señalización, equipos de control, estandarización de procedimientos y capacitación en Lean Mining.

Tabla 68*Desglose de los costos directos e indirectos asociados a la propuesta de mejora*

Concepto	Detalle y justificación	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Capacitación Lean Mining (5S, Kaizen, VSM)	Curso de 144 h por 6 meses, dictado por SGS Peru. 5,400 por tema (16,200) Área de planeamiento: 10 Área de operaciones: 20 Área de voladura: 10 Área de obreros: 30	70	16,200	1,134,000
Capacitación en seguridad de explosivos	Taller certificado por Famesa Explosivos, costo promedio S/. 750 por operario. Participarán: Área de obreros: 30 Área de voladura: 10 Área de operaciones: 20	60	750	45,000
Señalización visual y demarcación	Pintura epóxica y servicio de pintado (IMC del Perú — Pintura industrial y anticorrosiva) Servicio pintura Carteles vinílicos de seguridad, con láminas 3M (Tecnología Industrial Peruana (TECIP)) Cintas reflectivas (Cinta reflectiva 3M 983-71 Amarilla, 2" × 45.7 m/ Cinta reflectiva 3M EG Blanco 4" × 45.7 m)/ (Tecnología Industrial Peruana (TECIP))	24 servicios 100 365 cintas (blancas/ amarillas)	6,000 40 450	6,490
Protocolos estandarizados	Redacción de manuales, formatos de checklist plastificados, anualmente (ZM Safety Consulting)	18,250 unidades	6.411	117,000
Software de control y tableros visuales	Licencia Power BI Pro (microsoft) Área de planeamiento: 5 Área de operaciones: 10 Área de voladura: 5	20 usuarios	622	12,440
Reporte de Jumbos para mantenimiento preventivo	Cambio de mangueras hidráulicas, filtros de aire, lubricantes y grasas industriales con la empresa RESEMIN (4 equipos) c/u (250 horas) (2,000 dólares)(dólar a 3.7))	1000 horas	7,400	7,400,000
TOTAL				8,714,930

Nota. Elaboración propia

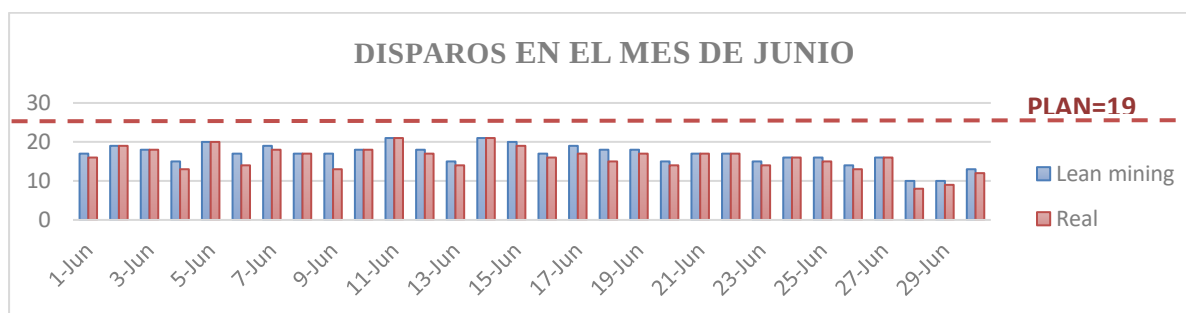
6.4. Aplicando la metodología

En total durante los 4 meses (junio-julio-agosto-septiembre) analizados se realizaron 1985 disparos en el plan real, pero si se aplica la metodología lean mining se obtienen 2174 disparos.

En la figura 42 se muestra que del mes de junio donde en el escenario real se ejecutaron 474 disparos, aplicando la metodología se podrían realizar 503 disparos.

Figura 42

Comparación de los disparos de junio real vs. lean mining

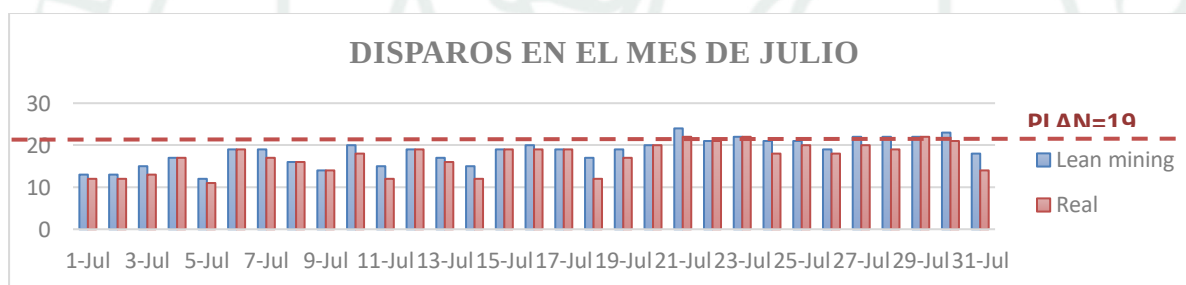


Nota. Elaboración propia

En la figura 43 se muestra que del mes de julio donde en el escenario real se ejecutaron 531 disparos, aplicando la metodología se podrían realizar 573 disparos.

Figura 43

Comparación de los disparos de julio real vs. lean mining

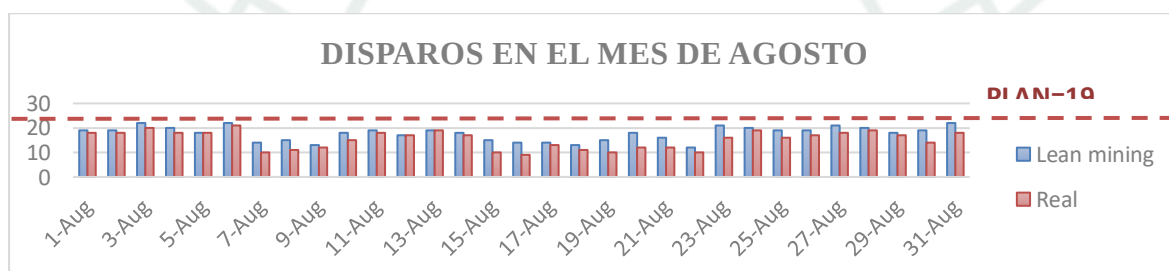


Nota. Elaboración propia

En la figura 44 se muestra que del mes de agosto donde en el escenario real se ejecutaron 473 disparos, aplicando la metodología se podrían realizar 549 disparos.

Figura 44

Comparación de los disparos de agosto real vs. lean mining

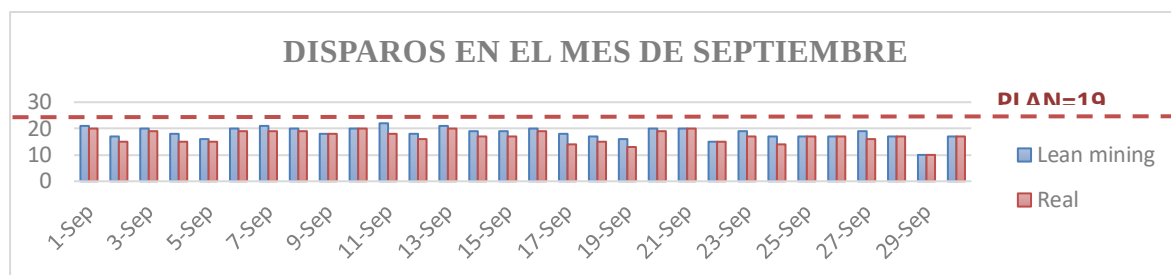


Nota. Elaboración propia

En la figura 45 se muestra que del mes de septiembre donde en el escenario real se ejecutaron 507 disparos, aplicando la metodología se podrían realizar 549 disparos.

Figura 45

Comparación de los disparos de septiembre real vs. lean mining



Nota. Elaboración propia

6.5. Beneficios Obtenidos

Los beneficios se calcularon tomando como referencia los datos de la empresa y ajustando con valores de mercado.

Tabla 69

Beneficio estimado con la aplicación de lean mining

Pareto	Causa Raiz	Ahorro/Beneficios	Tipo	Supuesto	Beneficios
08-Deficientes Condiciones de labores	Zonas de almacén y labores en desorden, falta de limpieza y ausencia de estandarización visual	Al aplicarse las 5S las zonas de almacén y labores estarán en orden y limpias con programas anuales	Anual	Numero de disparos que no se ejecutaron= 44. Ganancia si se ejecutaran (S/.66,868.42 * 44 disparos)	S/.2,942,210.53
10- Fallas en Equipos	No se realiza reporte de mantenimiento preventivo, lo que ocasiona mantenimientos reactivos.	Al aplicarse PHVA se genera un registro mediante un formato control de los mantenimientos en los equipos	Anual	Numero de disparos que no se ejecutaron= 69. Ganancia si se ejecutaran (S/.66,868.42 * 69 disparos)	S/.4,613,921.05
07- Falta de servicios/05- Mantenimiento eléctrico 15-Ventilacion	No se realiza mantenimiento a las fuentes de energía, bombeo, agua, ventilación, lo que origina que no se tengan buenas instalaciones dentro de mina)	Al emplearse un plan de mantenimiento y tablas de control, se tiene una planificación de mantenimientos de los servicios	Anual	Numero de disparos que no se ejecutaron= 26. Ganancia si se ejecutaran (S/.66,868.42 * 26 disparos)	S/.1,738,578.92
16- Planeamiento / Falta de reporte	Falta de capacitación de los procedimientos al personal y contratistas, Ausencia de protocolos estandarizados, Supervisión limitada	Mediante planes de capacitaciones, matrices de habilidades, protocolos de estandarización, sistema de auditorías	Anual	Numero de disparos que no se ejecutaron= 24. Ganancia si se ejecutaran	S/.1,604,842.08

	de contratistas en campo, Falta de retroalimentación	internas, protocolos, reuniones se puede realizar una mejor planificación para cumplir con la programación de voladuras.	(S/.66,868.42 * 24 disparos)	
01- Cambio de orden de trabajo	Escasa coordinación entre áreas. No se tiene definido los destinos de minado, lo que origina un cambio constante en la asignación de equipos.	Mediante a gestión visual y la programación de reuniones entre áreas se logra definir las labores a disparar y que recursos se utilizara para ello.	Anual Numero de disparos que no se ejecutaron= 14. Ganancia si se ejecutaran (S/.66,868.42 * 14 disparos)	S/. 936,157.88
Subtotal			177 disparos adicionales	

- La ganancia actual es: $1985 \text{ disparos} * S/.66,868.42 = S/. 132,733,813.7$
- La ganancia aplicando lean mining es: $2162 \text{ disparos} * S/.66,868.42 = S/. 144,569,524.04$
- Beneficio: $S/.144,569,524.04 - S/. 132,733,813.7 = S/.11,835,710.34$

6.6. Análisis Beneficio/Costo (B/C)

Se calcula el índice B/C en base a la relación entre los beneficios anuales y el costo de implementación:

$B/C = \text{Beneficios} / \text{Costos de Implementación}.$

Datos:

- Costo de implementación (CI): S/. 8,714,930
- Beneficio anual (BA): S/. 11,835,710.34
- $B / C = 11,835,710.34 / 8,714,930 = 1.36$ soles
- El valor $B/C = 1.36 > 1$ demuestra que la propuesta es rentable.

Interpretación:

- Como el índice $B/C > 1$, la propuesta es económicamente viable.
- El $B/C = 1.36$ significa que por cada sol invertido la empresa obtiene 1.36 soles de retorno.

6.7. Periodo de Recuperación (Payback)

Método de evaluación económica que permite estimar el tiempo que tarda una inversión en ser recuperada a través de los beneficios o ahorros generados por el proyecto. En términos

simples, mide cuántos meses o años son necesarios para que los ingresos acumulados igualen el costo inicial de implementación.

Datos:

Costo de implementación (CI): S/. 8,714,930

Beneficio anual (BA)/12: S/. 11,835,710.34

$\text{Payback} = \text{CI} / (\text{BA}/12) = 8,714,930 / (11,835,710.34 / 12) = 8.84 \text{ meses}$

- El proyecto se recupera en 8.84 meses, garantizando un retorno atractivo.
- Un Payback tan corto demuestra que la implementación de Lean Mining no solo genera beneficios sostenidos en el tiempo, sino que también permite liberar rápidamente capital para otras inversiones.

6.8. Comprobación de la hipótesis

Con el objetivo de contrastar la hipótesis planteada en el Capítulo I, se elaboraron y analizaron cuatro tablas que organizan de forma sistemática la formulación de la hipótesis, la situación inicial del proceso de voladura, los resultados obtenidos mediante la propuesta Lean Mining y el contraste final de la hipótesis.

6.8.1. Formulación de la hipótesis

En la Tabla 70 se resume la hipótesis general de investigación, que plantea que la aplicación de herramientas Lean Mining permitirá optimizar el proceso de voladura en la empresa de minería subterránea en estudio. En esta tabla se identifican también las variables involucradas y los principales indicadores empleados para evaluar dicha optimización. La hipótesis establece que la mejora debe evidenciarse tanto en el desempeño técnico del proceso como en los resultados económicos.

Tabla 70
Variables y principales indicadores para la evaluación de la hipótesis

Elemento	Descripción
Hipótesis general	La aplicación de herramientas Lean Mining permitirá la optimización del proceso de voladura en la extracción de mineral de una empresa dedicada a la minería subterránea.
Variables asociadas	- Aplicación de herramientas Lean Mining (variable independiente). - Optimización del proceso de voladura (variable dependiente).
Indicadores principales	- Reducción de horas muertas. - Reducción del costo por disparo. - Reducción de consumo de insumos.

- Mejora del cumplimiento de programación.
- Rentabilidad (B/C y Payback).

Nota. Elaboración propia

6.8.2. Situación inicial del proceso de voladura

La Tabla 71 presenta el diagnóstico inicial del proceso antes de aplicar la propuesta. Se identificaron problemas críticos como:

- Incumplimientos de hasta 54 % en la ejecución de voladuras.
- Acumulación de 1020 horas muertas en los equipos jumbo en cuatro meses.
- Variabilidad en el consumo de insumos, principalmente emulsión explosiva.
- Ausencia de estandarización en actividades clave.
- Deficiencias en organización y orden en el frente de trabajo.

Estos resultados reflejan una operación con alta variabilidad, productividad limitada y costos innecesarios derivados del uso ineficiente de recursos, lo que confirma la necesidad de intervenciones basadas en mejora continua.

Tabla 71
Diagnóstico inicial del proceso antes de la aplicación de la propuesta

Aspecto evaluado	Situación inicial	Implicancia
Ejecución de voladuras	Hasta 54 % de incumplimiento respecto al plan.	Afecta la continuidad operativa y genera reprogramaciones.
Horas muertas en equipos jumbo	1020 horas improductivas en 4 meses.	Generan sobrecostos y baja productividad.
Consumo de insumos	Variabilidad y consumo por encima del estándar.	Aumenta el costo por disparo.
Estandarización del proceso	Ausencia de procedimientos detallados y uniformes.	Incrementa la variabilidad y los tiempos de ciclo.
Organización del frente de trabajo	Carencia de orden, limpieza y flujo óptimo.	Retrasa la actividad y reduce eficiencia.

Nota. Elaboración propia

6.8.3. Resultados obtenidos con la propuesta Lean Mining

La Tabla 72 sintetiza los resultados de la propuesta de mejora basada en herramientas Lean Mining. Entre los beneficios más relevantes se encuentran:

- Ganancia por disparo S/. 66,868.42 generado por la reducción de tiempos improductivos y el mejor manejo de insumos si se aplica la metodología.
- Beneficio económico anual proyectado de S/. 11,835,710.34 producto de la aplicación sistemática de las mejoras.

- Índice Beneficio/Costo (B/C) de 1.36, que evidencia la rentabilidad de la propuesta.
- Periodo de recuperación de 8.84 meses, indicador favorable en términos de inversión.
- Disminución significativa de horas muertas en los equipos jumbo.

Estos resultados derivan directamente del uso de herramientas Lean Mining tales como 5S, estandarización de procesos, análisis de causa raíz y el ciclo PHVA, lo cual demuestra la coherencia técnica de la propuesta.

6.8.4. Contraste y comprobación de la hipótesis

La Tabla 72 presenta el contraste de la hipótesis a partir de dos criterios principales: optimización técnica y optimización económica.

Tabla 72

Resultados de la propuesta basada en las herramientas Lean Mining

Criterio de contraste	Evidencia obtenida	Juicio
Optimización técnica	- Reducción de horas muertas. - Control y estandarización del proceso. - Mejora en la organización del frente de trabajo.	La propuesta mejora la eficiencia operativa.
Optimización económica	- Ganancia S/. 66,868.42 por disparo. - Beneficio anual S/. 11,835,710.34 - B/C = 1.36 y Payback = 8.84 meses	La propuesta es económicamente viable.
Relación con Lean Mining	Las herramientas aplicadas reducen desperdicios, tiempos y variabilidad.	Hay coherencia entre teoría Lean y resultados.
Alcance del estudio	La investigación es propositiva, con comprobación a nivel técnico-económico.	Se sostiene la hipótesis en el marco del alcance definido.
Juicio final	Los resultados técnicos y económicos coinciden con lo planteado.	La hipótesis se sostiene.

Nota. Elaboración propia

- En términos técnicos, los resultados evidencian mejoras en la estandarización, reducción de horas improductivas y mayor eficiencia operativa. Esto confirma que las herramientas Lean Mining contribuyen a estabilizar el proceso de voladura y reducir la variabilidad asociada a actividades críticas.
- En términos económicos, los indicadores obtenidos (ahorro por disparo, beneficio anual, relación B/C y periodo de recuperación) muestran que la propuesta no solo es técnicamente viable, sino también rentable para la empresa.

La comprobación de la hipótesis se realiza dentro del marco de una investigación de alcance propositivo, es decir, basada en análisis técnico-económicos y modelamiento, sin una

implementación real en la operación minera. Aun así, los resultados obtenidos son consistentes con lo planteado por la hipótesis.

Por tanto, según la evidencia sintetizada en la Tabla 65 se sostiene la hipótesis general de la investigación, dado que la aplicación de herramientas Lean Mining permite optimizar el proceso de voladura mediante la reducción de costos, el mejor aprovechamiento de los recursos, la disminución del consumo de insumos y la mejora de la eficiencia operativa.

Finalmente, se recomienda validar estos resultados mediante una implementación piloto en la unidad minera, a fin de confirmar el impacto real de la propuesta en condiciones operativas.

6.8.5. Comparación con resultados de estudios previos

Tabla 73

Comparación con los resultados de investigaciones similares

Categoría	Investigación 01	Investigación 02	Investigación 03	Tesis actual
Título, año (cita)	Aplicación de Lean Mining para mejorar la productividad del proceso de extracción de carbón mineral (2019)	Implementación de metodología Lean en minería subterránea: estudio de caso (2013)	Lean methodologies and productivity in mining development: A case in an underground mining project (2023)	Aplicación de herramientas Lean Mining para la optimización del proceso de voladura en minería subterránea (2025)
Lugar de aplicación	Mina subterránea de carbón – Perú	Mina subterránea Esmeralda – Chile	Proyecto de desarrollo minero subterráneo – Chile	Unidad minera subterránea (zona intermedia y profunda) – Pasco, Perú
Problema estudiado	Baja productividad por desorden, tiempos muertos, falta de estandarización y procesos no documentados.	Baja eficiencia y variabilidad en procesos, falta de control de KPIs, sobrecostos operativos.	Variabilidad en la planificación y ejecución, baja confiabilidad del plan, demoras y pérdidas de productividad.	Incumplimiento de voladuras (54% contrata, 26% compañía), uso ineficiente de explosivos, reprocesos, mantenimientos correctivos y horas muertas de equipos (1020 h en 4 meses).
Objetivos de la investigación	Incrementar la productividad del proceso de extracción y documentar los procesos.	Evaluar la implementación de Lean en minería subterránea y su impacto en productividad y costos.	Analizar el efecto de metodologías Lean (LPS) en la productividad y estabilidad del desarrollo minero.	Aplicar herramientas Lean Mining para optimizar el proceso de voladura. Incluye diagnosticar, identificar causas, seleccionar herramientas, proponer mejoras y evaluar viabilidad económica.
Herramientas Lean utilizadas	5S, SMED, estandarización.	Herramientas Lean generales: eliminación de desperdicios, gestión visual,	Last Planner System (LPS), filosofía Lean aplicada a planificación.	5S, análisis causa raíz (5W), VSM, estandarización, gestión visual, Kaizen, PHVA, matriz de habilidades.

		KPIs, mejora continua.		
Principales resultados	+42% de productividad, reducción de tiempos sin valor, procesos documentados que permiten sostenibilidad futura.	Mayor utilización de activos, reducción de costos, cumplimiento del plan minero, automatización de KPIs.	Mejora de todos los indicadores, reducción de variabilidad, menor tiempo desperdiciado, mayor confiabilidad del plan (PPC).	Ahorro de S/.168.01 por disparo (S/. S/.66,868.42 al año), B/C = 1.36, payback = 8.84 meses Reducción de reprocesos, mejor uso de explosivos, orden y control en área de voladura, estandarización total del proceso.

Nota. Elaboración propia

El análisis comparativo de las tres investigaciones previas confirma la viabilidad técnica, operativa y económica de la propuesta desarrollada en la tesis actual. Los estudios de Flores Huamán (2019), Rojas Fernández (2013) y Cáceres et al. (2023) evidencian de manera consistente que la aplicación de metodologías Lean en minería subterránea mejora la productividad, reduce la variabilidad en las operaciones, disminuye costos y fortalece la estandarización y el control de los procesos. Estos resultados coinciden directamente con los beneficios obtenidos en la presente tesis, donde la implementación de herramientas Lean Mining como 5S, análisis causa raíz, estandarización, gestión visual y Kaizen permitió optimizar el proceso de voladura, reduciendo pérdidas operativas, mejorando el uso de explosivos y disminuyendo significativamente las horas improductivas.

En conjunto, la evidencia empírica de los trabajos anteriores respalda que Lean Mining es eficaz en contextos mineros similares y valida que los resultados obtenidos en esta investigación son coherentes, esperables y sostenibles, demostrando que la propuesta planteada es plenamente viable y alineada con las mejores prácticas probadas en la industria minera por lo que se acepta la hipótesis.

CONCLUSIONES

- La aplicación de las herramientas Lean Mining (5S, estandarización, gestión visual y Kaizen) demuestra beneficios operativos y económicos medibles: un ahorro estimado anual total proyectado llega a S/. 11,835,710.34, con una inversión inicial estimada en S/.8,714,930
- El diagnóstico cuantitativo mostró: un costo por disparo de S/. 5,036.00, 1020 horas muertas acumuladas en 4 meses en equipos jumbo (impacto directo en la secuencia de voladuras) y cumplimiento irregular de metas (por ejemplo, en meses puntuales no se alcanzó la meta en 60% de los días analizados). Estos indicadores confirman problemas en planificación, mantenimiento y coordinación operativa.
- Las causas cuantificadas más relevantes fueron: (a) fallas de equipos (primera causa con >20% de los disparos no ejecutados según Pareto), (b) mantenimientos reactivos predominantes (prevalencia de mantenimientos correctivos que generan paradas acumuladas) y (c) deficiencias de coordinación y documentación entre planeamiento, geotecnia y operación (listadas en el análisis de causas). Estos factores se traducen directamente en horas perdidas (1020 h/4 meses) y altas tasas de incumplimiento de programación.
- Se seleccionaron y justificaron herramientas con impacto cuantificable: 5S (diagnóstico inicial Seiri = 16.7% cumplimiento, plan de orden/etiquetado para eliminar materiales vencidos y reducir tiempos de búsqueda), programa preventivo (acciones para reducir paradas correctivas y recuperar disponibilidad de equipos), VSM / estandarización (reducción del consumo de emulsión estimada en 3%) y gestión visual + reuniones post-voladura para mejorar coordinación.
- Las acciones plantadas (implementación piloto de 5S en zona de carga, cronograma, protocolos estandarizados, tableros KPI y capacitaciones) fueron cuantificadas en el presupuesto y en metas KPI: inversión. Con la ejecución de estas acciones se proyecta la recuperación de la inversión en 8.84 meses en escenario conservador.
- La evaluación económica arroja indicadores favorables: Beneficio estimado de S/. 11,835,710.34, Costo de implementación de S/. 8,714,930, B/C = 1.47 y Payback de 8.84 meses lo que confirma la viabilidad financiera y la alta rentabilidad de la propuesta en el horizonte anual evaluado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa implementar un programa estructurado de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en jumbos y equipos de perforación, con cronogramas semanales y mensuales acompañados de checklists digitales de control. Actualmente, el 70% de las fallas corresponde a mantenimientos correctivos, lo que genera paradas acumuladas de 1020 horas en cuatro meses. Con la aplicación del TPM se espera una reducción del 20% en fallas de equipos, recuperando aproximadamente 240 horas operativas por trimestre y asegurando una disponibilidad de jumbos superior al 85%, lo cual repercutirá directamente en el cumplimiento de voladuras y en la reducción de tiempos muertos.
- Se recomienda estandarizar el diseño de voladuras utilizando software de simulación y protocolos validados, además de implementar controles visuales bajo la metodología 5S en el almacenamiento y entrega de emulsiones. El consumo excesivo de explosivos genera un sobre costo de S/. 32.61 por disparo, que equivale a S/. 11,900 anuales. La correcta planificación permitirá reducir en al menos un 3% el uso de emulsiones, disminuyendo costos directos, evitando sobre-roturas y mejorando la seguridad ambiental con reducciones de hasta un 72% en gases tóxicos post-voladura.
- Se recomienda fortalecer la planificación y control de las voladuras mediante la adopción de Value Stream Mapping (VSM) y la implementación de tableros de gestión visual que registren en tiempo real indicadores clave como cumplimiento de voladuras, horas máquina, disponibilidad de equipos y reprocesos. El diagnóstico inicial mostró un 54% de incumplimiento en voladuras programadas, producto de fallas de coordinación y ausencia de indicadores de control. Con la aplicación de estas herramientas se proyecta elevar el cumplimiento de programación a un 90%, reducir los reprocesos en un 50% y garantizar un flujo de información más confiable entre las áreas de planeamiento, geotecnia y operación.
- Se recomienda establecer un plan de capacitación mensual dirigido a operadores y supervisores, enfocado en diseño de voladuras, seguridad, uso eficiente de recursos y mejora continua (Kaizen). El análisis evidenció deficiencias de estandarización y coordinación inter-áreas, las cuales se traducen en retrasos y reprocesos. La formación constante contribuirá a fortalecer la cultura Lean, permitiendo reducir incidentes menores en un 20% y mejorar la trazabilidad documental en un 25%, asegurando que las mejoras técnicas implementadas se sostengan en el tiempo gracias al compromiso del personal operativo y de mando medio.

- Se recomienda formalizar un comité interdisciplinario de mejora continua que realice reuniones mensuales post-voladura, con el fin de analizar resultados, comparar parámetros de diseño con la ejecución real y generar retroalimentación inmediata. Actualmente, la ausencia de un sistema de retroalimentación estructurado ocasiona la repetición de errores y pérdidas constantes. Con este comité se garantizará la alineación de las mejoras operativas con los objetivos estratégicos de la empresa, permitiendo reducir retrabajos en S/. 50 por disparo (aproximadamente S/. 18,250 anuales) y consolidar un sistema de mejora sostenida en el largo plazo.



REFERENCIAS

- Altamirano Barreto, R. A. (2023). Herramientas Lean Mining para incrementar la productividad de la explotación de mineral de la constructora FREL MAR S.A.C. Humachuco 2023. Trujillo: Universidad Privada del Norte.
- Ayu, S., Suryani, E., & Bakar, Y. (2019). Implementasi budaya 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke) pada area proses pembuatan tas. [Revista no especificada], 14.
- Azzamouri, J., et al. (2016). Lean mining: A new approach to sustainable resource extraction. *Journal of Cleaner Production*.
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gomez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). Perforación y voladura de rocas en minería. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Cahuata Esquivel, M. (2021). Optimización de la voladura con el uso de emulsión bombeable en minería subterránea y tunelería. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(48), 45–54.
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21764>
- Chi, D. (2024). Improving economic efficiency and occupational safety in production facilities using the 5S–Kaizen method. *Sustainability in Environment*.
<https://doi.org/10.22158/se.v9n1p44>
- Díaz-Martínez, J., Guarín-Aragón, M., & Jiménez-Builes, J. (2012). Analisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 15–22.
<http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n32/n32a02.pdf>
- Four Principles. (2016). Lean Mining: bringing sustainable efficiencies to the Mining Industry. Dubai, UEA: Four Principles An Abdul Jameel Company.
<https://www.fourprinciples.com/view/Lean-Mining-Bringing-Sustainable-Efficiencies-to-the-Mining-Industry.pdf>
- Fortuny-Santos, J., Ruiz, P., & Luján-Blanco, I. (2021). Estudio de la aplicabilidad de lean management en la industria minera. *Dirección y Organización. Revista de ingeniería de organización*, 96–106.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/346098/DyOleanminingPOSTPRI NT.pdf?sequence=1>

- Fuad, R., Achiraeniwati, E., & Renosori, P. (2019). Perancangan sikap kerja di CV. PT berdasarkan prinsip 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke). [Revista no especificada], 411–418.
- Garay, J., & Collao-Díaz, M. (2024). Optimization of machinery repair processes in the mining and construction sectors through Lean Service methodologies: An integrated case study. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. <https://doi.org/10.46254/na09.20240277>
- García Ortega, B. (2021). *Introducción a la metodología Lean*. Valencia, España: Universidad Politécnica de València. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/165994/Garc%C3%ADa%20-%20Introducci%C3%B3n%20a%20la%20metodolog%C3%ADa%20Lean.pdf?sequence=1>
- Gonzales Mendez, C. A. (2021). *Diseño de las herramientas Lean Mining para incrementar la productividad de la empresa minera W&J Minería y Construcción S.A.C. Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Jadhav, G., Jamadar, V., Gunavant, P., & Gajghate, S. (2014). Role of Kaizens to improve productivity: A case study. *Applied Mechanics and Materials*, 592–594, 2689–2693. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.592-594.2689>
- Khaba, S., & Bhar, C. (2018). Analysing the barriers of lean in Indian coal mining industry using integrated ISM–MICMAC and SEM. *Benchmarking: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/BIJ-04-2017-0057>
- Kęsek, M., Bogacz, P., & Migza, M. (2019). The application of Lean Management and Six Sigma tools in global mining enterprises. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 214. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/214/1/012090>
- Kumiega, A., & Van Vliet, B. (2008). *Kaizen: Continuous improvement*. [Obra/colección no especificada], 271–277. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372549-3.00030-6>
- Lean Mining Institute LMI. (2024). *Programa de certificación de practicantes de Lean Mining*. <http://lean-canada.org/lean-mining-institute/>
- Mazur, M., Korenko, M., Žitňák, M., Shchur, T., Kielbasa, P., Dostál, P., Dzhidzhora, O., & Idzikowski, A. (2024). Implementation and benefits of the 5S method in improving workplace organisation – A case study. *Management Systems in Production Engineering*, 32, 498–507. <https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0047>

- Michalska, J., & Szewieczek, D. (2007). The 5S methodology as a tool for improving the organisation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 24, 211–214.
- Ministerio de Energía y Minas [ESTAMIN]. (2024, junio). Boletín Estadístico Minero. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6759635/5860180-bem-junio-2024%282%29.pdf?v=1723828100>
- Mottola, L. (2018, mayo 7). Por qué la industria minera necesita desesperadamente el pensamiento lean. *Planet Lean*. <https://www.planet-lean.com/articles/lean-management-mining-industry>
- Mottola, R. (2018). Lean Mining Institute: Promoting sustainable practices in the mining sector. *Lean Global Network*.
- Pakdil, F., & Leonard, K. (2017). Implementing and sustaining lean processes: The dilemma of societal culture effects. *International Journal of Production Research*, 55, 700–717. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1200761>
- Paniagua, R. (2024). Filosofía Lean. Conceptos y principios. ESIC. <https://www.esic.edu/sites/default/files/2024-03/978-84-11920-35-3%20Filosofia%20Lean.pdf>
- Podlesny, S. (2024). Continuous improvement: Kaizen in the materials processing industry. *Обробка матеріалів тиском*. [https://doi.org/10.37142/2076-2151/2024-1\(53\)215](https://doi.org/10.37142/2076-2151/2024-1(53)215)
- Pompei, T., & Pereira, J. (2022). 5S program: Analysis and improvement proposal in a company in the mining sector located in the Mata Mineira region. *CONTECSI International Conference on Information Systems and Technology Management*. <https://doi.org/10.5748/18contecsi/rex/ism/6796>
- Prawira, A., Rahayu, Y., Hamsal, M., & Purba, H. (2018). A case study: How 5S implementation improves productivity of heavy equipment in mining industry. *Independent Journal of Management & Production*. <https://doi.org/10.14807/IJMP.V9I4.826>
- Quiroz Alegría, R. (2016). Implementación de metodología Lean en minería subterránea – estudio de caso esmeralda. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Randhawa, J., & Ahuja, I. (2017). Evaluating impact of 5S implementation on business performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 66, 948–978. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-08-2016-0154>
- Reza, M., & Azwir, H. (2019). Penerapan 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke) pada area kerja sebagai upaya peningkatan produktivitas kerja (Studi kasus di CV Widjaya

- Presisi). JIE Scientific Journal on Research and Application of Industrial System.
<https://doi.org/10.33021/JIE.V4I2.892>
- Sá, J., Vaz, S., Carvalho, O., Lima, V., Morgado, L., Fonseca, L., Doiro, M., & Santos, G. (2020). A model of integration ISO 9001 with Lean Six Sigma and main benefits achieved. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33, 218–242.
<https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1829969>
- Schwandt, T. (2009). *The SAGE Dictionary of Qualitative Inquiry*. California, Estados Unidos: SAGE Publications, Inc.
- Susanto, E., & Sulistyowati, N. (2020). The effect of implementation of 5S on Kaizen and quality. *European Journal of Business and Management*.
<https://doi.org/10.7176/ejbm/12-18-08>
- Tasayco Carrasco, L. H. (2023). *Aplicación de Lean Mining para mejorar la productividad del proceso de explotación en minería subterránea*. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma.
- Ulum, B., Elaine, T., & Richard, L. (2023). *Madrasah Aliyah-based culture development 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu and Shitsuke)*. *At-Tasyrih: Jurnal Pendidikan dan Hukum Islam*. <https://doi.org/10.55849/attasyrih.v8i2.142>
- Wolniak, R. (2020). Analysis of the 5S method functioning in a production company. [Revista no especificada], 523–531. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2020.146.37>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster.

ANEXOS

Anexo 1 Datos de la empresa

Cantidad de voladuras ejecutadas y no ejecutadas por día (Junio 24 - Septiembre 24)

FECHA	NUMERO DE DISPAROS EJECTADOS	NUMERO DE DISPAROS NO EJECTADOS POR CIA	NUMERO DE DISPAROS NO EJECTADOS POR AESA	META TOTAL DE DISPAROS POR DIA
1-Jun	16		2	18
2-Jun	19			19
3-Jun	18			18
4-Jun	13	2	2	17
5-Jun	20			20
6-Jun	14	1	4	19
7-Jun	18		1	19
8-Jun	17			17
9-Jun	13	3	1	17
10-Jun	18			18
11-Jun	21			21
12-Jun	17	1	1	19
13-Jun	14	2	2	18
14-Jun	21			21
15-Jun	19	1	1	21
16-Jun	16	2	1	19
17-Jun	17	1	1	19
18-Jun	15	1	2	18
19-Jun	17		1	18
20-Jun	14	1	1	16
21-Jun	17		1	18
22-Jun	17			17
23-Jun	14		1	15
24-Jun	16			16
25-Jun	15	1		16
26-Jun	13	1	1	15
27-Jun	16	1		17
28-Jun	8	1	2	11
29-Jun	9		1	10
30-Jun	12		1	13
1-Jul	12	1	1	14
2-Jul	12		1	13
3-Jul	13	2		15
4-Jul	17	2		19
5-Jul	11	2		13
6-Jul	19			19
7-Jul	17	1	1	19
8-Jul	16			16
9-Jul	14	2		16
10-Jul	18		2	20
11-Jul	12		3	15
12-Jul	19			19
13-Jul	16	1		17
14-Jul	12	4	1	17
15-Jul	19			19
16-Jul	19		1	20
17-Jul	19			19
18-Jul	12		2	14
19-Jul	17			17
20-Jul	20			20
21-Jul	22			22
22-Jul	21			21
23-Jul	22			22
24-Jul	18	1	3	22
25-Jul	20		2	22
26-Jul	18	2		20
27-Jul	20		3	23
28-Jul	19		3	22
29-Jul	22			22
30-Jul	21		2	23
31-Jul	14	3	1	18

1-Ago	18	1	3	22
2-Ago	18	2		20
3-Ago	20	1	1	22
4-Ago	18	2	2	22
5-Ago	18	1		19
6-Ago	21		1	22
7-Ago	10	2	2	14
8-Ago	11	3	2	16
9-Ago	12		2	14
10-Ago	15	2	3	20
11-Ago	18	1	2	21
12-Ago	17		1	18
13-Ago	19		1	20
14-Ago	17		2	19
15-Ago	10	2	5	17
16-Ago	9	4	1	14
17-Ago	13	1	1	15
18-Ago	11	1	2	14
19-Ago	10	3	3	16
20-Ago	12	4	3	19
21-Ago	12	1	3	16
22-Ago	10	1	4	15
23-Ago	16	3	3	22
24-Ago	19	2	0	21
25-Ago	16	0	3	19
26-Ago	17	2	0	19
27-Ago	18	2	1	21
28-Ago	19		1	20
29-Ago	17	1		18
30-Ago	14	2	5	21
31-Ago	18	2	2	22
1-Set	20	1		21
2-Set	15	1	3	19
3-Set	19		1	20
4-Set	15	1	1	17
5-Set	15	2		17
6-Set	19	1	1	21
7-Set	19		2	21
8-Set	19		1	20
9-Set	18			18
10-Set	20		1	21
11-Set	18		4	22
12-Set	16	2	1	19
13-Set	20		1	21
14-Set	17	1	2	20
15-Set	17	0.5	1.5	19
16-Set	19	1	1	21
17-Set	14		4	18
18-Set	15	1.5	1.5	18
19-Set	13	2	3	18
20-Set	19	1		20
21-Set	20			20
22-Set	15	3		18
23-Set	17	1	1	19
24-Set	14	2	1	17
25-Set	17			17
26-Set	17	0.5	0.5	18
27-Set	16	1	3	20
28-Set	17	1	1	19
29-Set	10			10
30-Set	17	1		18

Equipo	Fecha	Turno	Actividad	Detalle	Hora Inic	Hora Fin	Duración
JUM-0057-CH	13/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	13:00	14:10	01:10
JUM-0057-CH	14/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FUGA ACBT E	09:25	09:50	00:25
JUM-0057-CH	14/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FUGA DE AGUA POR SELLOS PERFORADORA	14:00	15:00	01:00
JUM-0057-CH	15/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	02:20	03:30	01:10
JUM-0057-CH	15/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS BUSTER Y REGULACIÓN PRESIONES	04:00	07:00	03:00
JUM-0057-CH	15/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS BUSTER Y REGULACIÓN PRESIONES	07:00	10:10	03:10
JUM-0057-CH	15/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON LAS LUCES DE PERFORACIÓN	17:00	19:00	02:00
JUM-0057-CH	16/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON LAS LUCES DE PERFORACIÓN	19:00	20:40	01:40
JUM-0057-CH	16/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON LAS LUCES DE PERFORACIÓN	17:40	19:00	01:20
JUM-0057-CH	17/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON LAS LUCES DE PERFORACIÓN	19:00	20:30	01:30
JUM-0057-CH	18/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FUGA ACBT E HIDRAULICO MANGUERA N° 10	17:30	19:00	01:30
JUM-0057-CH	19/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FUGA ACBT E HIDRAULICO MANGUERA N° 10	19:00	21:00	02:00
JUM-0057-CH	20/06/2024	Día	Demora Operativa	CAMBIO DE PESTAÑA DE LLANTA	07:00	11:20	04:20
JUM-0057-CH	23/06/2024	Noche	Demora Operativa	ROTURA DE SHANK	04:55	05:50	00:55
JUM-0057-CH	23/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	00:00	03:20	03:20
JUM-0057-CH	24/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS EN LA PERFORADORA	19:00	01:30	06:30
JUM-0057-CH	26/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE CONECTOR	16:55	17:30	00:35
JUM-0057-CH	28/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	05:30	07:00	01:30
JUM-0057-CH	28/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	07:00	16:00	09:00
JUM-0057-CH	6/07/2024	Día	Demora Operativa	ROTURA DE SHANK	17:35	19:00	01:25
JUM-0057-CH	8/07/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON LOS SELLOS DE AGUA	14:45	15:00	00:15
JUM-0057-CH	10/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS TAPA BALANES DE MOTOR	01:15	02:00	00:45
JUM-0057-CH	12/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON ACUMULADORES Y PARÁMETROS	05:30	07:00	01:30
JUM-0057-CH	12/07/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON ACUMULADORES Y PARÁMETROS	07:00	09:00	02:00
JUM-0057-CH	13/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS EN LA PERFORADORA	20:00	22:20	02:20
JUM-0057-CH	14/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS EN LA PERFORADORA	20:00	22:00	02:00
JUM-0057-CH	15/07/2024	Día	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO GENERAL	07:00	10:00	03:00
JUM-0057-CH	17/07/2024	Día	Demora Operativa	CAMBIO DE LLANTA	13:05	14:45	01:40
JUM-0057-CH	2/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ESTANDARIZACIÓN MANGUERAS	20:00	22:20	02:20
JUM-0057-CH	2/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CUINDRO AVANCE	03:35	04:15	00:40
JUM-0057-CH	2/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FUGA ACBT E PANEL PERFORACIÓN	05:50	07:00	01:10
JUM-0057-CH	2/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FUGA ACBT E PANEL PERFORACIÓN	07:00	08:50	01:50
JUM-0057-CH	3/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA CON COMPONENTES EN GENERAL	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	3/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA CON COMPONENTES EN GENERAL	07:00	08:40	01:40
JUM-0057-CH	5/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA CON COMPONENTES EN GENERAL	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	5/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA CON COMPONENTES EN GENERAL	07:00	10:30	03:30
JUM-0057-CH	6/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	6/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	7/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	7/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	8/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	8/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	9/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	9/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	10/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	10/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	11/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	11/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	12/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	12/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	13/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	13/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	14/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	14/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	15/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	15/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	16/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	16/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	17/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	17/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	18/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	18/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	19/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	19/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	20/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	20/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	19:00	12:00
JUM-0057-CH	21/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	21/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	07:00	17:00	10:00
JUM-0057-CH	22/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FUGA DE ACBT E DE MOTOR	12:40	14:35	01:55
JUM-0057-CH	24/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS SWITCH ACTIVACIÓN GATAS DELANTE	20:00	23:30	03:30
JUM-0057-CH	25/08/2024	Día	Demora Operativa	ROTURA DE SHANK	15:00	16:00	01:00
JUM-0057-CH	25/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL SISTEMA ELÉCTRICO	07:00	10:50	03:50
JUM-0057-CH	28/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA CONECTOR GAMARRILLA	16:40	17:30	00:50
JUM-0057-CH	31/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FUGA ACBT E PANEL PERFORACIÓN	14:25	14:35	00:10
JUM-0057-CH	8/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS EN LA PERFORADORA	07:00	11:00	04:00
JUM-0057-CH	9/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	MANTENIMIENTO GENERAL	07:00	10:00	03:00
JUM-0057-CH	12/09/2024	Día	Demora Operativa	PROBLEMAS EN LA PERFORADORA	12:05	16:30	04:25
JUM-0057-CH	12/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FUGA DE ACBT E DE MOTOR	07:00	08:40	01:40
JUM-0057-CH	13/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FUGA ACBT E PANEL PERFORACIÓN	17:20	19:00	01:40
JUM-0057-CH	14/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL FARO DELANTERO, PERNO RC	03:30	07:00	03:30
JUM-0057-CH	14/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL FARO DELANTERO, PERNO RC	07:00	11:30	04:30
JUM-0057-CH	17/09/2024	Noche	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO MOTOR DIESEL 250 HPS	19:00	05:00	10:00
JUM-0057-CH	19/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL CLAMP	14:25	15:00	00:35
JUM-0057-CH	19/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	15:55	16:40	00:45
JUM-0057-CH	20/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL PIN DE BASCULACIÓN	19:00	07:00	12:00
JUM-0057-CH	20/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL PIN DE BASCULACIÓN	07:00	12:00	05:00
JUM-0057-CH	22/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	04:00	04:45	00:45
JUM-0057-CH	22/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON LA MANGUERA DE PERCUSIÓN	10:50	12:30	01:40
JUM-0057-CH	23/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE CAMPANA DE GAMARRILLA	01:40	02:10	00:30
JUM-0057-CH	23/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE CABLE DE AVANCE Y RETORNO	04:20	05:00	00:40
JUM-0057-CH	26/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	16:20	16:50	00:30
JUM-0057-CH	27/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS GAMARRILLA MANGUERA AGUA	17:00	19:00	02:00
JUM-0057-CH	28/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS GAMARRILLA MANGUERA AGUA	19:00	21:15	02:15
Total JUM-0057-CH							548:50

Equipo	Fecha	Turno	Actividad	Detalle	Hora Inic	Hora Fin	Duración
JJM-0058-CH	1/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	MANTENIMIENTO GENERAL	15:40	15:50	00:10
JJM-0058-CH	5/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS DE BRAZO	08:00	10:20	02:20
JJM-0058-CH	7/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	MANTENIMIENTO GENERAL	19:00	22:30	03:30
JJM-0058-CH	10/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	MANTENIMIENTO GENERAL	23:50	00:10	00:20
JJM-0058-CH	10/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL BOOSTER DE AGUA	07:00	12:00	05:00
JJM-0058-CH	11/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON LA GAMARRILLA, NO PASA AGUA	14:00	15:00	01:00
JJM-0058-CH	13/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE PLACA BOOM	07:00	19:00	12:00
JJM-0058-CH	14/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE PLACA BOOM	19:00	07:00	12:00
JJM-0058-CH	14/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE PLACA BOOM	07:00	19:00	12:00
JJM-0058-CH	15/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE PLACA BOOM	19:00	07:00	12:00
JJM-0058-CH	15/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE PLACA BOOM	07:00	19:00	12:00
JJM-0058-CH	16/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE PLACA BOOM	19:00	20:40	01:40
JJM-0058-CH	17/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS SISTEMA BARRIDO, SISTEMA ELÉCTRICO	04:40	07:00	02:20
JJM-0058-CH	17/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO PÉNDULO	07:00	10:30	03:30
JJM-0058-CH	24/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	07:00	09:30	02:30
JJM-0058-CH	25/06/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	20:00	22:00	02:00
JJM-0058-CH	28/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE FILTRO DE ADMISIÓN	07:00	09:30	02:30
JJM-0058-CH	2/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	19:00	03:35	08:35
JJM-0058-CH	5/07/2024	Día	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO GENERAL	07:00	19:00	12:00
JJM-0058-CH	6/07/2024	Noche	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO GENERAL	19:00	05:00	10:00
JJM-0058-CH	9/07/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON NIVELES ELEVADOS DE MONOXÍDO	13:45	15:00	01:15
JJM-0058-CH	10/07/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	MOTOR DIESEL, PATILLA DE LA PERFORADORA	07:00	08:35	01:35
JJM-0058-CH	12/07/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	MANTENIMIENTO GENERAL	08:00	10:00	02:00
JJM-0058-CH	13/07/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON BATERÍA	08:00	09:45	01:45
JJM-0058-CH	15/07/2024	Día	Demora Operativa	NEUMÁTICO PL BAJA	08:30	09:05	00:35
JJM-0058-CH	23/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS EN LA PERFORADORA	19:00	22:30	03:30
JJM-0058-CH	23/07/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	10:30	11:30	01:00
JJM-0058-CH	23/07/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE CILINDRO	07:00	09:00	02:00
JJM-0058-CH	26/07/2024	Noche	Demora Operativa	PROBLEMAS CON EL CABLE 440 V	04:15	07:00	02:45
JJM-0058-CH	26/07/2024	Día	Demora Operativa	PROBLEMAS CON EL CABLE 440 V	07:00	10:00	03:00
JJM-0058-CH	28/07/2024	Noche	Demora Operativa	PROBLEMAS CON EL CABLE 440 V	19:00	23:00	04:00
JJM-0058-CH	30/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PARA POR CENTRALIZADOR DELANTERO E INTERMEDI	20:00	21:30	01:30
JJM-0058-CH	31/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	03:45	04:15	00:30
JJM-0058-CH	3/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	19:00	22:20	03:20
JJM-0058-CH	3/08/2024	Día	Demora Operativa	CAMBIO DE SHANK Y SELLOS DE AGUA	15:05	15:50	00:45
JJM-0058-CH	5/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	01:30	02:00	00:30
JJM-0058-CH	5/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS SISTEMA PERCUSIÓN, PROBLEMAS AR	05:00	07:00	02:00
JJM-0058-CH	5/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	16:10	16:40	00:30
JJM-0058-CH	5/08/2024	Día	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO / VERIFI	07:00	12:30	05:30
JJM-0058-CH	6/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE CONECTORES	07:00	09:35	02:35
JJM-0058-CH	8/08/2024	Día	Demora Operativa	CAMBIO DE LLANTA	15:15	16:15	01:00
JJM-0058-CH	10/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALLA EN EL MOTOR DIESEL	07:00	11:50	04:50
JJM-0058-CH	11/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE LLANTA	10:00	11:00	01:00
JJM-0058-CH	12/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALLA EN RODAMIENTO DE CABLE DE AVANCE	11:40	14:30	02:50
JJM-0058-CH	14/08/2024	Noche	Demora Operativa	CAMBIO DE LLANTA	01:20	02:05	00:45
JJM-0058-CH	14/08/2024	Día	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO GENERAL	07:00	17:00	10:00
JJM-0058-CH	16/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	MANTENIMIENTO GENERAL	19:00	21:30	02:30
JJM-0058-CH	19/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON NIVELES ELEVADOS DE MONOXÍDO	19:00	22:40	03:40
JJM-0058-CH	19/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS EN LA PERFORADORA	07:00	09:50	02:50
JJM-0058-CH	20/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL SISTEMA ELÉCTRICO	04:35	07:00	02:25
JJM-0058-CH	20/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL SISTEMA ELÉCTRICO	07:00	10:00	03:00
JJM-0058-CH	21/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON LOS PERNOS DEL CENTRALIZADOR	19:00	21:30	02:30
JJM-0058-CH	21/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON CILINDRO DE AVANCE	14:30	17:30	03:00
JJM-0058-CH	23/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL SISTEMA ELÉCTRICO	02:25	03:25	01:00
JJM-0058-CH	24/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS MASTER SWITCH	00:10	02:00	01:50
JJM-0058-CH	26/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON NIVELES ELEVADOS DE MONOXÍDO	05:00	07:00	02:00
JJM-0058-CH	26/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON NIVELES ELEVADOS DE MONOXÍDO	07:00	09:00	02:00
JJM-0058-CH	27/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE CABLE	14:20	15:20	01:00
JJM-0058-CH	31/08/2024	Día	Demora Operativa	PROBLEMAS CON TABLERO ELÉCTRICO MINA	10:20	14:00	03:40
JJM-0058-CH	1/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE SHANK Y SELLOS DE AGUA	08:00	09:20	01:20
JJM-0058-CH	2/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA CON BOOSTER DE AGUA	20:50	07:00	10:10
JJM-0058-CH	2/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA CON BOOSTER DE AGUA	07:00	09:00	02:00
JJM-0058-CH	7/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	05:00	07:00	02:00
JJM-0058-CH	7/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	07:00	10:45	03:45
JJM-0058-CH	9/09/2024	Día	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO GENERAL	07:00	19:00	12:00
JJM-0058-CH	10/09/2024	Noche	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO GENERAL	19:00	07:00	12:00
JJM-0058-CH	10/09/2024	Día	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO GENERAL	07:00	17:00	10:00
JJM-0058-CH	11/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	TEMAS DE SOLDADURA	03:20	07:00	03:40
JJM-0058-CH	11/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PERNO DE PISTÓN DE AVANCE	07:00	12:15	05:15
JJM-0058-CH	16/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL SISTEMA ELÉCTRICO	11:05	13:00	01:55
JJM-0058-CH	17/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA CAMPANA GAMARRILLA	02:30	03:00	00:30
JJM-0058-CH	19/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA GAMARRILLA	23:10	00:00	00:50
JJM-0058-CH	19/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON NIVELES ELEVADOS DE MONOXÍDO	07:00	19:00	12:00
JJM-0058-CH	21/09/2024	Día	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO GENERAL	07:00	19:00	12:00
JJM-0058-CH	22/09/2024	Noche	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO PERCUSIÓN, COMPRESOR ELÉCTRICO	19:00	23:00	04:00
JJM-0058-CH	26/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE CAMPANA DE GAMARRILLA	13:45	14:30	00:45
JJM-0058-CH	27/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	02:00	03:10	01:10
JJM-0058-CH	27/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	16:25	19:00	02:35
JJM-0058-CH	28/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	00:30	00:40	00:10
JJM-0058-CH	28/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	19:00	21:35	02:35
JJM-0058-CH	28/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	03:10	07:00	03:50
JJM-0058-CH	28/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	07:00	11:20	04:20
Total JJM-0058-CH					#####		318:40

Equipo	Fecha	Turno	Actividad	Detalle	Hora Inic	Hora Fin	Duración
JUM-0059-CH	1/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL PIN DE DIRECCION	10:00	10:35	00:35
JUM-0059-CH	10/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE SUM BAR	07:00	10:25	03:25
JUM-0059-CH	15/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE CAMPANA DE GAMARRILLA	15:25	15:45	00:20
JUM-0059-CH	27/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE CENTRALIZADOR	15:25	16:00	00:35
JUM-0059-CH	28/06/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE FILTRO DE ADMISION	07:00	10:00	03:00
JUM-0059-CH	3/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE TEMPLADOR DE CABLE DE AVANCE	02:40	04:30	01:50
JUM-0059-CH	3/07/2024	Día	Demora Operativa	ROTURA DE MANGUERA	16:40	19:00	02:20
JUM-0059-CH	6/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	03:45	04:20	00:35
JUM-0059-CH	7/07/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	15:55	16:10	00:15
JUM-0059-CH	15/07/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FUGA DE ACEITE POR PERFORACIÓN	14:00	15:20	01:20
JUM-0059-CH	16/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	FUGA DE ACEITE POR COMPRESORA	01:20	01:50	00:30
JUM-0059-CH	24/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL PIN DE BASCULACION	02:50	03:50	01:00
JUM-0059-CH	28/07/2024	Noche	Demora Operativa	CAMBIO DE LLANTA	01:15	02:20	01:05
JUM-0059-CH	28/07/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EL PIN DE BASCULACION	19:00	22:50	03:50
JUM-0059-CH	2/08/2024	Día	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO GENERAL	07:00	19:00	12:00
JUM-0059-CH	3/08/2024	Noche	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO DE MOTOR DIESEL, SISTEMA ELÉ	19:00	07:00	12:00
JUM-0059-CH	3/08/2024	Día	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO DE MOTOR DIESEL, SISTEMA ELÉ	07:00	13:45	06:45
JUM-0059-CH	7/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	16:00	16:15	00:15
JUM-0059-CH	11/08/2024	Noche	Demora Operativa	ROTURA DE BARRA	03:00	03:50	00:50
JUM-0059-CH	11/08/2024	Día	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO GENERAL	07:00	11:50	04:50
JUM-0059-CH	13/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	MANTENIMIENTO GENERAL	19:00	21:20	02:20
JUM-0059-CH	16/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE MANGUERA DE AGUA	19:00	21:50	02:50
JUM-0059-CH	17/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	CAMBIO DE SHANK Y SELLOS DE AGUA	01:10	01:45	00:35
JUM-0059-CH	17/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON CABLE DE RETORNO PERFORACI	15:00	17:00	02:00
JUM-0059-CH	18/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EJE CARDANICO	19:00	07:00	12:00
JUM-0059-CH	18/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EJE CARDANICO	07:00	19:00	12:00
JUM-0059-CH	19/08/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON EJE CARDANICO	19:00	23:35	04:35
JUM-0059-CH	20/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	FALTA DE COMPONENTES (PINES Y BOQUINA)	13:50	14:20	00:30
JUM-0059-CH	30/08/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS ARRANQUE MOTOR DIESEL	13:25	13:45	00:20
JUM-0059-CH	2/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON LA GAMARRILLA, NO PASA AGUA	02:40	03:00	00:20
JUM-0059-CH	3/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON LA LINEA CARDANICA	19:00	01:00	06:00
JUM-0059-CH	4/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON NIVELES ELEVADOS DE MONOXID	07:00	19:00	12:00
JUM-0059-CH	5/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON NIVELES ELEVADOS DE MONOXID	19:00	22:40	03:40
JUM-0059-CH	6/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE CABLE DE AVANCE	03:30	07:00	03:30
JUM-0059-CH	6/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE CABLE DE AVANCE	07:00	10:00	03:00
JUM-0059-CH	7/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS PERNOS PATINES	16:00	16:35	00:35
JUM-0059-CH	8/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE MANGUERA	22:40	23:50	01:10
JUM-0059-CH	9/09/2024	Noche	Demora Operativa	ROTURA DE SHANK	23:35	00:10	00:35
JUM-0059-CH	13/09/2024	Noche	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO GENERAL	19:00	23:05	04:05
JUM-0059-CH	15/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	ROTURA DE CABLE DE AVANCE Y RETORNO	03:10	04:00	00:50
JUM-0059-CH	21/09/2024	Día	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMA DE ARRANQUE DE MOTOR	15:40	15:50	00:10
JUM-0059-CH	22/09/2024	Día	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO PERCUSIÓN, MOTOR DIESEL 125	07:00	19:00	12:00
JUM-0059-CH	23/09/2024	Noche	Mantenimiento preventivo no programado	MANTENIMIENTO PERCUSIÓN, MOTOR DIESEL 125	19:00	04:30	09:30
JUM-0059-CH	29/09/2024	Noche	Mantenimiento Reactivo	PROBLEMAS CON LA BOMBA HIDRÁULICA	22:00	22:30	00:30
Total JUM-0059-CH							152:25

Anexo 2

Guía de observación

Título: Guía de Observación en Campo para la Aplicación de herramientas Lean Mining para la optimización del proceso de voladura en la extracción de mineral de una empresa dedicada a la minería subterránea

Objetivo: Identificar el grado de cumplimiento de correcta catalogación y registro de la aplicación de las herramientas de Lean Mining para la optimización del proceso de voladura en la extracción de mineral de una empresa dedicada a la minería subterránea.

Tabla 74
Criterios de Observación:

Ítem	Aspecto a Evaluar	Cumple (Sí/No/Parcial)	Evidencia Observada	Observaciones / Recomendaciones
1	Meta de disparos/día 19	Parcial	Promedio 16-18 disparos/día	Ver KPIs mensuales (Tabla de KPIs de voladura)
2	Performance m/disp 3.5	Parcial	Valores 3.48-3.51 m/disp.	Ver KPIs de Performance (Tabla KPIs)
3	Factor de carga 26 kg/m	Si	26.7-26.8 kg/m	Ver Tabla de KPIs – Factor de Carga
4	Factor de potencia 0.28 kg/ton	Parcial	Valores 0.24-0.25	Ver KPIs de voladura
5	Control de dilución	Parcial	Variabilidad en taladros largos	Ver sección Dilución (Tabla CIA Taladros Largos)
6	Disponibilidad de servicios auxiliares	No	Fallas de ventilación/energía	Ver reporte de fallas (Capítulo IV)
7	Estandarización del proceso	Parcial	Variaciones en perforación	Ver análisis de procesos (Capítulo IV)
8	Gestión visual	No	Aún no implementada	Ver propuesta Lean (Sección 5S)
9	Planificación diaria	Parcial	Retrasos por mantenimientos reactivos	Ver análisis de incumplimientos (Tabla de incumplimiento 54%-26%)
10	VPT mensual	Parcial	Oscila entre 140-200 USD	Ver Tabla VPT mensual
11	Capacitación en Lean	Sí	20 trabajadores	Ver Tabla de Capacitación
12	Uso de software BI	Parcial	Implementación inicial	Ver Sección Power BI – propuesta Lean

Observaciones Generales:

1. Existencia de brechas operativas significativas entre la meta y el desempeño real

Si bien la meta institucional exige 19 disparos por día, los registros operativos muestran un cumplimiento parcial, con promedios entre 17 y 18 disparos diarios, lo cual evidencia una brecha sistemática entre lo planificado y lo realmente ejecutado. Esta situación se encuentra asociada principalmente a mantenimientos reactivos y fallas en servicios auxiliares, tal como se evidencia en la tabla de KPIs de voladura.

2. Variabilidad en los indicadores técnicos de perforación y voladura

El desempeño técnico muestra valores cercanos a la meta (3.48–3.51 m/disp); sin embargo, otros indicadores como el factor de potencia presentan variaciones (0.24–0.25 kg/ton frente a una meta de 0.28). Esta variabilidad indica deficiencias en la estandarización del proceso y problemas en la ejecución de perforación (profundidad, inclinación y alineación), evidenciados en el análisis del Capítulo IV.

3. Fallas recurrentes en servicios auxiliares afectan el ciclo operativo

Las observaciones indican deficiencias en ventilación, suministro eléctrico y bombeo, lo cual ocasiona interrupciones y tiempos muertos que impactan directamente en el cumplimiento de las metas operacionales. Estas fallas están documentadas en la sección de análisis de incumplimientos, donde se reporta un 54% de incumplimiento por parte de la contratista y 26% por la compañía.

4. Bajo grado de implementación de herramientas Lean Mining en campo

Aunque se evidencia un inicio de adopción de Lean Mining mediante capacitaciones y señalización, aún no existe una implementación efectiva de gestión visual, estandarización total y control sistemático del flujo de trabajo. Esto se refleja en la persistencia de mermas como desplazamientos innecesarios, reprocesos y falta de planificación estructurada, confirmadas en la sección de propuesta Lean y los resultados operativos.

Anexo 3

Guía de análisis documental

Título: Guía de Observación Documental para la Aplicación de herramientas Lean Mining para la optimización del proceso de voladura en la extracción de mineral de una empresa dedicada a la minería subterránea

Objetivo: Evaluar la existencia, actualización y cumplimiento de documentos clave relacionados con la aplicación de las herramientas de Lean Mining para la optimización del proceso de voladura en la extracción de mineral de una empresa dedicada a la minería subterránea.

Tabla 75
Criterios de Observación:

Ítem	Documento a Revisar	¿Existe? (Sí/No)	Última Actualización	Observaciones
1	KPIs de voladura	Sí	2024	Incluye performance, FC, FP, VPT (Tablas Cap. IV)
2	Plan de capacitación Lean	Sí	2024	Registra costos y participantes (Tabla Capacitaciones)
3	Plan de mantenimiento	Sí	2024	Costo total S/55,250 (Tabla de costos)
4	Registros de VPT	Sí	Mensual	Valores 140–200 USD (Tabla VPT)
5	Reportes de estabilidad productiva	Sí	Mensual	Mejoras del 90% (Tabla Estabilidad)
6	Procedimientos operativos	Parcial	2019–2024	Requiere estandarización
7	Mapa de procesos	Sí	2024	Incluye áreas operativas y soporte (Capítulo III)

Observaciones Generales:

1. La documentación técnica está disponible, pero requiere actualización y estandarización

Si bien existen documentos clave como KPIs de voladura, mapas de procesos y registros de VPT, parte de los procedimientos operativos muestra desactualización o falta de estandarización completa. Esta necesidad se refleja en la falta de procedimientos unificados para perforación, carga y disparo, lo cual afecta la uniformidad de los resultados.

2. Los registros económicos y de capacitación están completos y permiten análisis de costos robustos

El documento presenta información cuantitativa sólida respecto a inversiones:

- S/ 55,250 en mantenimiento

- S/ 18,000 capacitación en Lean
- S/ 11,250 capacitación en explosivos
- S/ 7,500 en señalización

Esta trazabilidad facilita el análisis costo-beneficio ($B/C = 1.47$ y $\text{Payback} = 8.15$ meses), demostrando una gestión documental adecuada en el área administrativa y de mejora continua.

3. Los KPIs de desempeño están documentados de manera clara y periódica

Los indicadores técnicos —Performance, Factor de Carga, Factor de Potencia, Dilución, VPT— cuentan con tablas mensuales bien estructuradas. Esto permite identificar tendencias, brechas y cumplimiento parcial de metas, como la caída del VPT a 140–180 USD en septiembre o la mejora de estabilidad productiva del 90% en agosto. La existencia de estos registros respalda la capacidad de análisis continuo de la empresa.

4. La documentación evidencia una fuerte brecha entre planificación y ejecución

Aunque existen herramientas formales de planificación y reportes de supervisión, la evidencia operacional muestra un alto porcentaje de incumplimiento (54% contratista y 26% compañía), lo cual revela que la documentación no se está aplicando plenamente en campo. Esto sugiere debilidades en el control operacional, retroalimentación de información y seguimiento al cumplimiento de los estándares establecidos.