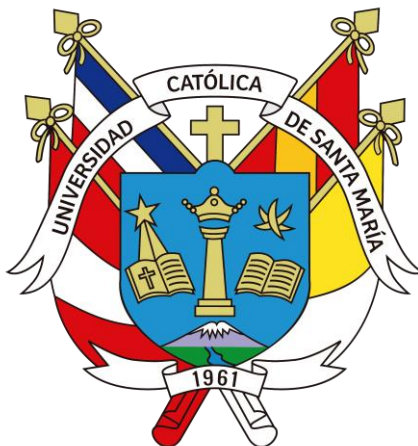


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial



**Implementación de un sistema de excelencia para la estandarización
del proceso de voladura de una Empresa Minera del sur del Perú, 2024**

Tesis presentada por la Bachiller:

Valenzuela Zeballos, Grace Victoria

ORCID: 0009-0006-5109-4870

para optar el Título Profesional de Ingeniera Industrial

Asesor:

Dr. Pacheco Oviedo, Abraham Arturo

ORCID: 0000-0001-9449-0116

Arequipa- Perú

2025

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA INDUSTRIAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 13 de Diciembre del 2024

Dictamen: 012585-C-EPII-2024

Visto el borrador del expediente 012585, presentado por:

2017803142 - VALENZUELA ZEBALLOS GRACE VICTORIA

Titulado:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE EXCELENCIA PARA LA ESTANDARIZACIÓN DEL
PROCESO DE VOLADURA DE UNA EMPRESA MINERA DEL SUR DEL PERÚ, 2024**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

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

INGENIERO INDUSTRIAL

**29388008 - TICSE VILLANUEVA EDWING JESUS
DICTAMINADOR**



**40926859 - VALDIVIA LLERENA CESAR ALONSO RENATO
DICTAMINADOR**



**29648840 - CHURA QUISPE FRANZ
DICTAMINADOR**



Implementación de un sistema de excelencia para la estandarización del proceso de voladura de una Empresa Minera del sur del Perú, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.utea.edu.pe	

DEDICATORIA

A Dios, por su amor y guía constante.

Y a mi madre, mi modelo a seguir, por su dedicación y apoyo incondicional.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar a esta etapa profesional, a mis docentes por sus enseñanzas compartidas, a mis líderes y compañeros de trabajo por permitirme implementar el presente proyecto.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal implementar un sistema de excelencia para la estandarización del despeje de área y reinicio de operaciones post detonación en el proceso de voladura en una mina del sur del país, para reducir la caída de producción, causada por dicho proceso.

Se realizó un diagnóstico de la situación inicial del proceso de voladura, utilizando las herramientas de resolución de problemas, determinación de causa raíz y análisis de las 6M's en trabajo colaborativo con los involucrados en el proceso. Se identificó que las oportunidades de mejora se encontraban en el despeje de área para la voladura, dicha evacuación implica parar el proceso de extracción de los equipos que se encuentren en el radio de influencia. La falta de un método sistemático para la planificación y ejecución del despeje de equipos resulta en tiempos de parada prolongados, lo cual causa una caída en la producción de material.

Para la implementación del sistema de excelencia para la estandarización del proceso se utilizó el ciclo PDCA, así como criterios de la metodología Just In Time, SMED y Poka Yoke, aplicados en el despeje de área así como en el reinicio de operaciones, permitieron reducir los tiempos de parada de equipos en un 34.5%, es decir de 1.06 horas por voladura a 0.69 horas por voladura y el tiempo de demora en la ejecución del disparo fue reducido aproximadamente al 80%, teniendo inicialmente 21.12 minutos de demora y aplicada la estandarización el nuevo tiempo es de 4.17 minutos de demora de ejecución de disparo de voladura. El incremento de la productividad de mineral enviado chancado permite tener un análisis beneficio/costo de 19.71. Por último, se ofrecen las conclusiones y recomendaciones basadas en la aplicación del sistema de excelencia para la estandarización del proceso de voladura en una mina del sur del Perú.

Palabras clave:

Voladura, Despeje de Área, Sistema de Excelencia, Estandarización, Reinicio de Operaciones

ABSTRACT

This research aims to apply and implement an excellence system for the standardization of area clearing and post-detonation operations restart in the blasting process at a mine in the southern part of the country, to reduce production losses caused by this process.

A diagnosis of the initial situation of the blasting process was made, using problem-solving tools, root cause determination, and the analysis of the 6M's in collaborative work with those involved in the process. It was identified that improvement opportunities were found in the area clearing for blasting. This evacuation involves stopping the extraction process of the equipment located in the influence zone. The lack of a systematic method for planning and executing the equipment clearing results in prolonged downtime, which causes a drop in material production.

For the implementation of the excellence system for the standardization of the process, the PDCA cycle was used, along with criteria from the Just In Time, SMED, and Poka Yoke methodologies. Applied to the area clearing and operations restart, these tools allowed for a 34.5% reduction in equipment downtime, from 1.06 hours per blast to 0.69 hours per blast. Additionally, the delay time in the execution of the shot was reduced by approximately 80%, with an initial delay of 21.12 minutes. After standardization, the new delay time is 4.17 minutes for the blasting shot execution. The increase in productivity of crushed mineral sent allows for a cost/benefit analysis of 19.71.

Finally, the conclusions and recommendations based on the implementation of the excellence system for the standardization of the blasting process in a mining company in Peru.

Key words:

Blasting, Area Clearing, Excellence System, Standardization, Restart of Operations

Índice

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 2

1. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL..... 2

1.1. Descripción de la realidad de la problemática 2

1.2. Formulación del Problema 5

1.2.1. Problema General..... 5

1.2.2. Problemas Específicos 5

1.3. Objetivos de la Investigación..... 5

1.3.1. Objetivo general..... 5

1.3.2. Objetivos específicos 5

1.4. Justificación 6

1.4.1. Justificación Teórica 6

1.4.2. Justificación Metodológica 6

1.4.3. Justificación Práctica 6

a) Política, económica y/o social 6

b) Profesional, académica y/o personal 7

1.5. Delimitación de la Investigación 8

1.5.1. Delimitación Espacial	8
1.5.2. Delimitación Social.....	8
1.5.3. Delimitación Temporal	8
1.5.4. Delimitación Conceptual	8
1.6. Hipótesis de la Investigación	8
1.7. Variables	8
1.8. Limitaciones.....	9
1.9. Metodología de la Investigación.....	9
1.9.1. Método de la Investigación.....	9
1.9.2. Tipo de Investigación.....	10
1.9.3. Nivel de la Investigación	10
1.10. Cobertura de estudio	11
1.10.1. Población.....	11
1.10.2. Muestra	11
1.10.3. Muestreo	11
1.11. Técnicas e instrumentos.....	11
1.11.1. Técnicas de la investigación	11
1.11.2. Instrumentos de la Investigación.....	12
1.12. Procesamiento Estadístico de la Información	12
1.13. Matriz de Consistencia.....	13
CAPÍTULO II.....	14
2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	14

2.1.1. Antecedentes internacionales.....	14
2.1.2. Antecedentes nacionales	15
2.1.3. Antecedentes locales.....	17
2.2. Marco Referencial y Legal.....	18
2.2.1 Ciclo de Deming	18
2.2.2 Just in time (JIT).....	20
2.2.3 SMED (Single Minute Exchange of Dies).....	21
2.2.4 Poka Yoke.....	23
2.2.5. Estandarización del proceso.....	23
2.2.6. Principales Herramientas de mejora	25
2.2. Marco Conceptual.....	27
2.3. Base legal.....	32
CAPÍTULO III.....	36
3. ANÁLISIS SITUACIONAL	36
3.1. Descripción de la Empresa.....	36
3.2. Cultura Organizacional	36
3.2.1. Misión	36
3.2.2. Visión.....	36
3.2.3. Valores	37
3.3. Estructura Organizacional.....	37
3.3.1. Organigrama de la Gerencia de Mina	38
3.4. Mapa de Procesos de la Empresa.....	39
3.4.1 Procesos estratégicos	39

3.4.2. Procesos operacionales	40
3.4.3 Procesos de soporte.....	41
3.5. Proceso de Extracción de Mineral	42
3.5.1. Perforación.....	44
3.5.2. Voladura.....	44
3.5.3. Carguío y Acarreo.....	45
3.6. Proceso actual de voladura.....	45
3.7 Maquinaria y Equipos.....	52
3.8. Indicadores del proceso de voladura.....	58
3.9. Resultados del proceso de voladura actual	58
3.9.1 Causas de Paralización de Equipos.....	59
3.10 Análisis de Resolución de Problemas.....	65
3.10.1 Análisis Causa Raíz	66
3.10.2 Análisis Causa Efecto	68
3.10.3 Priorización de Causa Raíz	74
3.10.4 Identificación de Oportunidades de Mejora.....	75
CAPÍTULO IV.....	77
4. IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTANDARIZACIÓN	77
4.1 Definición de Herramientas a Utilizar	77
4.2 Definición del objetivo de la estandarización.....	77
4.3 Cronograma de Implementación.....	77
4.4. Implementación de la Estandarización	80
4.4.1 Estandarización de la Hora de Voladura.....	80

4.4.2. Ciclo de Deming	81
4.5. Actividades de implementación.....	98
4.5.1. Capacitación a los involucrados.....	98
4.6. Estandarización del Proceso	100
4.6.1. Modelo de Gobernanza para la Estandarización.....	102
CAPÍTULO V.....	105
5. RESULTADOS DE LA ESTANDARIZACIÓN.....	105
5.1. Dimensión: Confirmación del Proceso (CdP).....	105
5.2. Dimensión: Adherencia al Plan (AP).....	106
5.1.1 Resultados Primer Piloto.....	106
5.1.2 Resultados Segundo Piloto	110
5.1.3 Resultados Tercer Piloto	113
5.3. Dimensión: Tiempo de Parada de Palas por Voladura (TP).....	116
5.4. Gestión de Tiempo (GT).....	118
CAPÍTULO VI.....	120
6. ANÁLISIS BENEFICIO COSTO	120
6.1. Beneficios	120
6.1.1 Estimación de Producción de Cobre	120
6.1.2. Beneficio Económico.....	124
6.2. Costos.....	125
6.2.1 Costos Directos	125
6.2.2 Costos Indirectos.....	127
6.2.3 Gastos Administrativos.....	128

6.2.4 Costos y Gastos Totales	129
6.3. Ratio Beneficio Costo	130
CONCLUSIONES	131
RECOMENDACIONES	132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
ANEXOS	141



Índice de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de Variables	9
Tabla 2 Matriz de Consistencia.....	13
Tabla 3 Indicadores en voladura	58
Tabla 4 Tiempo Total de Paradas de Palas por Voladura	60
Tabla 5 Horas Totales de Parada por Pala	61
Tabla 6 Promedio de Paradas de Palas por Mes	61
Tabla 7 Tiempo de Retraso de Disparo por Mes	62
Tabla 8 Promedio de Demoras de Disparo por Mes	63
Tabla 9 M1 Mano de Obra.....	69
Tabla 10 M2 Material	69
Tabla 11 M3 Medio.....	70
Tabla 12 M4 Método.....	71
Tabla 13 M5 Maquinaria.....	72
Tabla 14 M6 Medición.....	72
Tabla 15 Matriz de Priorización de Causa Raíz.....	74
Tabla 16 Puntuación de las Causas	75
Tabla 17 Cronograma de Implementación.....	79
Tabla 18 Rol de los Participantes en el Proceso de Voladura.....	81
Tabla 19 Comparación Implementación de Sistema GPS para equipos	82
Tabla 20 Semaforización de los Radios de Influencia.....	83
Tabla 21 Determinación de Paradas y Reinicio de Operaciones	84
Tabla 22 Despeje de Personal	85
Tabla 23 Asignación de Prioridad de Personal	87
Tabla 24 Rol del Comité de Voladura	87

Tabla 25 Actividades de la Agenda de la Reunión	88
Tabla 26 Recursos Necesarios para Movimiento de Equipos	89
Tabla 27 Confirmaciones del Proceso Ejecutadas	105
Tabla 28 Resultados Tiempos Piloto 1	107
Tabla 29 Resultados Indicadores Piloto 1	108
Tabla 30 Resultados Tiempos Piloto 2	110
Tabla 31 Resultados Indicadores Piloto 2	111
Tabla 32 Resultados Tiempos Piloto 3	113
Tabla 33 Resultados Indicadores Piloto 3	114
Tabla 34 Resultado Total de Horas de Parada por Pala	116
Tabla 35 Resultado Total de Horas de Parada por Mes	116
Tabla 36 Resultado Promedio de Tiempo de Parada por Pala	117
Tabla 37 Minutos Totales de Demora por Mes	118
Tabla 38 Promedio Minutos de Demora por Mes	119
Tabla 39 Comparación de Resultados Antes y Después de la Estandarización	120
Tabla 40 Productividad por Hora por Pala	121
Tabla 41 Número de Voladuras por Mes	121
Tabla 42 Estimación Producción Adicional de Material post Estandarización	122
Tabla 43 Estimación de la Producción de Cobre Fino	123
Tabla 44 Costos de Producción	124
Tabla 45 Ingreso Total por Mes	125
Tabla 46 Beneficios Sociales Laborales	126
Tabla 47 Costo de Mano de Obra Directa	126
Tabla 48 Costo Directo Total	127
Tabla 49 Materiales Indirectos del Personal	127

Tabla 50 Materiales Indirectos para Talleres	128
Tabla 51 Costo Indirecto Total	128
Tabla 52 Costo Administrativo Capacitaciones.....	129
Tabla 53 Costo Administrativo Talleres	129
Tabla 54 Costo Administrativo Total.....	129
Tabla 55 Costo Total.....	130



Índice de Figuras

Figura 1 Símbolos Diagrama de Flujo.....	25
Figura 2 Diagrama de causa y efecto.....	26
Figura 3 Organigrama de la Mina del Sur del Perú.....	38
Figura 4 Mapa de Procesos.....	42
Figura 5 Procesos Productivo de la Empresa.....	43
Figura 6 Proceso de Extracción de la minería.....	44
Figura 7 Flujograma del Proceso de Voladura.....	49
Figura 8 Diagrama de Análisis del Proceso Actual de Voladura.....	51
Figura 9 Pala Eléctrica.....	53
Figura 10 Camión de Acarreo.....	54
Figura 11 Perforadora Rotativa.....	55
Figura 12 Tractor Topador de Ruedas.....	56
Figura 13 Manipulador de Cables Eléctricos.....	56
Figura 14 Switch House.....	57
Figura 15 Subestación Eléctrica.....	57
Figura 16 Eventos de Parada de las Palas por Voladura.....	59
Figura 17 Total de Horas de Parada de las Palas por Voladura por Mes.....	60
Figura 18 Horas Totales de Retraso de Disparo por Voladura.....	63
Figura 19 Minutos de Retraso de Disparo de Voladura.....	64
Figura 20 Taller Resolución de Problemas 1.....	66
Figura 21 Taller Resolución de Problemas 2.....	66
Figura 22 Taller Análisis de Causa Raíz.....	68
Figura 23 Diagrama de Ishikawa.....	73
Figura 24 Implementación de Sistema de GPS de equipos.....	82

Figura 25 Movimiento de Pala Eléctrica	90
Figura 26 Recojo de Personal	91
Figura 27 Ingreso de Personal Prioridad A.....	92
Figura 28 Espera de Camiones Atrás del Vigía.....	93
Figura 29 Herramienta de Comparación de Resultados	95
Figura 30 Confirmación del Proceso	96
Figura 31 Taller de Lecciones Aprendidas	97
Figura 32 Capacitación Herramientas Lean.....	98
Figura 33 Capacitación según Nuevo Estándar	99
Figura 34 Capacitación Confirmación de Procesos	100
Figura 35 Flujograma de la Estandarización de Despeje de Área y Reinicio de Operaciones	101
Figura 36 Resultados Piloto 1	107
Figura 37 Confirmación del Proceso Piloto 1	109
Figura 38 Resultados Piloto 2.....	111
Figura 39 Confirmación del Proceso Piloto 2.....	112
Figura 40 Resultados Piloto 2.....	113
Figura 41 Confirmación del Proceso Piloto 3.....	115
Figura 42 Resultados Total de Horas de Parada por Mes.....	117
Figura 43 Minutos Totales de Demora por Mes	118

Índice de Anexos

Anexo 1 Validacion Juicio de Expertos.....	141
---	-----



INTRODUCCIÓN

Una actividad económica extractiva es la minería, la cual tiene una gran importancia en la economía de nuestro país, dicho sector enfrenta diferentes retos en el día a día, es por ello que la innovación, la optimización y estandarización de procesos y la cultura de mejora continua es algo que debe de estar presente y que muchas compañías mineras en la actualidad están implementando la excelencia operacional en todos sus procesos.

El proceso de voladura es esencial para la extracción de mineral ya que afecta la fragmentación de este y a su vez por seguridad, paraliza por unos momentos la operación dentro de su radio de influencia de la detonación. La estandarización y optimización del proceso en el despeje de área y reinicio de operaciones es necesaria para reducir los tiempos de inactividad de equipos encargados de la extracción y por ende aumentar la producción de mineral.

En el Capítulo 1 se describe el problema actual en el proceso de voladura, así como los objetivos, justificación, delimitación, hipótesis, variables, limitaciones y la metodología de la investigación, en el Capítulo 2 se presentan los antecedentes y bases de la investigación, en el Capítulo 3 se realiza el análisis situacional de la empresa, en el cual se da a conocer el proceso actual de la voladura y el análisis de resolución de problemas. En el Capítulo 4 se detalla la implementación del sistema de excelencia para la estandarización, seguidamente en el Capítulo 5 se presentan los resultados de la implementación y por último en el Capítulo 6 se analiza los beneficios económicos de la estandarización realizada.

Además, el presente trabajo destaca la importancia de tener estandarizados los procesos en situaciones altamente variables, así como la implementación de un sistema de excelencia enfocado en la generación de valor.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1.1. Descripción de la realidad de la problemática

En la industria minera la eficiencia y productividad son aspectos fundamentales para garantizar el éxito de una operación. La voladura es una etapa crucial en la extracción de minerales, ya que tiene un impacto directo en la fragmentación del material. Una voladura eficiente y a tiempo permite una mejor fragmentación, lo que facilita la carga y el transporte del material, reduciendo así los tiempos de inactividad de equipos y aumentando la productividad del proceso de extracción.

En el contexto internacional, destacando a Australia la voladura permite mejorar el valor de la minería al ser consistente. Aumenta el desarrollo de 500 m por año a 7,500 m por año en una mina de 600 kt/a, el VPN podría mejorar en un 10.2% o AUD 5.4 millones. Así mismo, se identificó que la voladura junto con las perforadoras jumbo y de agujeros largos eran los cuellos de botella. Ya que, generaban actividades que no aportaban valor al proceso incrementando los tiempos. Una de las razones de la ineficiencia en el proceso de voladura es que los modelos actuales no logran predecir con exactitud los resultados, los modelos experimentales han demostrado tener un margen de error del 25% al 40% al intentar replicar los resultados de voladura a gran escala, principalmente debido a la falta de precisión en la entrada de datos geo mecánicos, que pueden variar en un rango del 30% al 50% debido a la heterogeneidad de la roca (Sellers & Salmi, 2020). Por otro lado, en China se destaca los altos tiempos muertos producto de la alta producción de polvo causada por la fragmentación excesiva de la roca después de la voladura. Se mencionan estudios que demuestran cómo la tasa de deformación incrementa la dureza de la roca, afectando los parámetros mecánicos dinámicos. Se utilizó el software LS-DYNA para modelar y optimizar las voladuras, asegurando una tasa de semi perforación superior al 90%, también se estudió la distribución de

tensiones en plataformas de 24 m de altura con diferentes espaciamentos (Xiaohua eta al, 2023).

Además de representar más del 60% de todas las exportaciones, la actividad minera en nuestro país, suele aportar el 14% del Producto Bruto Interno (PIB) de la nación. Es así como, al analizar a la minera aurífera Retamas S.A. se diagnosticó que enfrentaba problemas en la galería principal 9080 SW, con un uso excesivo de aceros de perforación y un aumento en el consumo de explosivos debido a malas prácticas operativas. La roca granodiorita del sitio, con un RMR de 41-50, requería un sostenimiento específico. Las deficiencias en la perforación y voladura ascienden a (87.3%) resultaron en tiros cortados y fallidos, con un avance efectivo de solo 0.78 metros (cuando se estima que debería tener un avance efectivo de 1.61 metros) (Quispe & Yupanqui, 2023). Así mismo, en el estudio de Yaranga (2021) la producción de los equipos de carguío se ve afectada por la dureza del material y la calidad de la voladura, con un tonelaje total aproximado de 60 ktpt, la pala PL03 logra el mayor tonelaje con 22,000 tpt y una tasa de excavación de 1,833 t/h, beneficiándose de una menor dureza de 2.1. En contraste, la pala PL01 tiene el menor tonelaje con 5,000 tpt y una tasa de excavación de 417 t/h, debido a una mayor dureza de 2.9. La relación directa entre la dureza del material y el tonelaje producido indica que una fragmentación ineficiente puede llevar a una disminución en la producción.

Esta problemática no es ajena, en la mina del sur del Perú, donde la operación de voladura es un proceso crítico que afecta directamente la productividad. Para llevar a cabo este proceso, se tiene que tomar en cuenta la normativa de seguridad, la cual exige que todos los equipos estén fuera del radio de influencia y que todas las personas estén a más de 500 metros de distancia durante la voladura según el (Decreto Supremo N° 024-2016-TR., 2016). Sin embargo, la evacuación y preparación para la voladura suelen retrasarse en promedio más de 20 minutos y, en algunos casos, hasta horas debido a la movilización de equipos pesados y actividades propias del despeje de área, mismas que se realizan en el momento mismo, como

es lento movimiento de las palas de carguío de mineral, la gestión de cables, movimiento de perforadoras, movimiento de *Switch House* y subestaciones eléctricas, despeje de camiones, evacuación del personal, entre otros, donde se registra un total de horas promedio de inoperatividad por voladura mayor a 1 hora por pala. Es así como, el problema principal es la caída de producción causada por estos retrasos. La evacuación debería ser rápida y eficiente, pero la falta de un método sistemático para la planificación y ejecución de la movilización de equipos resulta en tiempos de parada prolongados y movimientos innecesarios fuera del radio de influencia que exceden los metros requeridos, lo que a su vez retrasa la hora de disparo planeada de voladura.

Al analizar las causas de este problema, incluyen la ausencia de un método estandarizado para la planificación del movimiento de equipos, la falta de puntos de referencia precisos para la ubicación final segura de los equipos, la necesidad de la adecuada asignación de equipos auxiliares, que a menudo están ocupados en otras tareas y la falta de comunicación efectiva entre el área de trabajo, entre otros.

Si no se aborda el problema del tiempo de inactividad no planificado en el proceso de voladura, este seguirá teniendo una fuerte caída en la producción de material enviado a la chancadora primaria. Esta situación también podría resultar en pérdidas operativas debido al tiempo en el que los equipos no están produciendo, afectando así la eficiencia y la sostenibilidad económica.

Por lo que, el presente estudio busca la implementación de un sistema de excelencia para estandarizar el proceso de voladura en una mina del sur del Perú. De esta manera, se busca aumentar el tiempo de productividad de las palas, que alimenta de mineral la planta de procesos y por ende reducir los costos operativos.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿En qué medida la implementación de un sistema de excelencia operacional para la estandarización del proceso de voladura disminuye los tiempos de parada de equipos en una minera del sur del Perú, 2024?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el proceso actual de voladura en la empresa minera del sur del Perú?
- ¿Qué herramientas de excelencia operacional implementar en el Sistema de Excelencia para obtener mejoras en el proceso de voladura de la empresa minera del sur del Perú?
- ¿Cuáles son los resultados de la estandarización de los procesos de voladura de la empresa minera del sur del Perú?
- ¿Cuáles son los beneficios económicos de la implementación del Sistema de Excelencia Operacional en la empresa minera del sur del Perú?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo general

Implementar un sistema de excelencia operacional para la estandarización del proceso de voladura para disminuir los tiempos de parada de equipos en una empresa minera del sur del Perú, 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el proceso actual de voladura en la empresa minera del sur del Perú.
- Aplicar herramientas de excelencia operacional para obtener mejoras en el proceso de voladura de la empresa minera del sur del Perú.
- Medir los resultados de la estandarización de los procesos de voladura de la empresa minera del sur del Perú.

- Cuantificar los beneficios económicos de la implementación de Sistema de Excelencia operacional en la empresa minera del sur del Perú.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Teórica

El presente estudio se justifica a nivel teórico ya que contribuye al cuerpo de conocimiento existente sobre la optimización de procesos de voladura en la minería. Al investigar cómo las mejoras en el proceso de voladura pueden incrementar la productividad, se enriquece la literatura con nuevos enfoques, técnicas y estrategias aplicables en el campo minero. Además, este estudio puede servir como referencia para futuras investigaciones que busquen explorar más a fondo la relación entre la eficiencia de la voladura y la productividad minera.

1.4.2. Justificación Metodológica

Metodológicamente, el estudio justifica su enfoque al emplear técnicas de investigación que permiten una evaluación detallada y sistemática de los procesos de voladura. La utilización de métodos cuantitativos ayuda a obtener una comprensión profunda de las variables involucradas y su impacto en la productividad. Además, se empleó el método cuantitativo aplicando guías de análisis documental, para recopilar datos referentes al proceso de voladura. La justificación metodológica pretende demostrar que el enfoque seleccionado es el más adecuado para abordar a las preguntas de investigación y alcanzar los objetivos definidos.

1.4.3. Justificación Práctica

a) Política, económica y/o social

El presente estudio se justifica ya que la estandarización de este proceso puede contribuir a mejorar la eficiencia y la productividad de la empresa minera, lo cual es un objetivo clave para el desarrollo económico del país. Además, la implementación de mejores prácticas en el proceso de voladura puede ayudar a reducir los impactos ambientales negativos de la

actividad minera, lo cual es un aspecto importante para el cumplimiento de las regulaciones y normativas ambientales.

Dado que la voladura es un paso crucial en el proceso de extracción de minerales y que su eficacia y calidad afectan a los costes de producción y a la rentabilidad de la empresa minera en el sur de Perú, el presente estudio tiene una justificación económica. La estandarización del procedimiento de voladura puede ayudar a maximizar la utilización de los recursos, acortar la duración de las operaciones y mejorar la calidad del material extraído, todo lo cual puede reducir los costes de producción y aumentar la rentabilidad.

Por último, el presente estudio posee una justificación social relevante ya que, la actividad minera es una fuente relevante de trabajo en la región y apoya al progreso económico y social de las comunidades aledañas. La implementación de mejores prácticas en el proceso de voladura puede ayudar a mejorar las condiciones de trabajo de los empleados y reducir los riesgos laborales.

b) Profesional, académica y/o personal

Desde una perspectiva profesional, la investigación ofrecerá un fundamento sólido para la toma de decisiones estratégicas en la mejora del proceso de voladura, mejorando productividad operativa de este. A nivel académico, se espera que los hallazgos contribuyan al cuerpo de conocimientos existente sobre los procesos de voladura.

Por último, personalmente, la investigación representa una oportunidad para profundizar en un área de interés y contribuir positivamente a la sociedad a través de la difusión de conocimientos sostenibles. Además, esta investigación permitirá adquirir nuevas habilidades y competencias, como el análisis de datos, mejora del proceso y la comunicación efectiva. Estas habilidades son fundamentales en el campo laboral y me proporcionarán una ventaja competitiva en mi futuro laboral.

1.5. Delimitación de la Investigación

1.5.1. Delimitación Espacial

La investigación se llevará a cabo en una empresa minera del sur del Perú que se dedica a la extracción de cobre.

1.5.2. Delimitación Social

La investigación contempla la participación de 413 trabajadores involucrados en el proceso de voladura.

1.5.3. Delimitación Temporal

La investigación se llevará a cabo por un período de tres meses, los cuales contemplan el diagnóstico preliminar, la implementación de mejoras y la medición de resultados. Asimismo, se realizará el diagnóstico con la data del año 2023 y 2024 para posteriormente implementar las herramientas de mejora. De esta manera, se logra la estandarización del proceso de voladura en el año 2024.

1.5.4. Delimitación Conceptual

El presente estudio aborda la estandarización de procesos, los cuales se aplicarán al proceso de despeje de área y reinicio de operaciones por voladura de una empresa minera del sur del Perú.

1.6. Hipótesis de la Investigación

Es posible que la implementación de un Sistema de Excelencia para estandarizar el proceso de voladura disminuya los tiempos de parada de equipos en una empresa minera del sur del Perú, 2024.

1.7. Variables

Como parte de la investigación, la variable independiente es la estandarización del proceso y la variable dependiente es el tiempo de parada de equipos en operaciones.

Tabla 1

Operacionalización de Variables

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente: Estandarización del proceso de Voladura	Es un conjunto de actividades y procedimientos que se llevan a cabo para establecer métodos uniformes y consistentes para la realización de tareas o la elaboración de productos (Saavedra, 2024).	Adherencia al Plan (AP)	$AP = \frac{N^{\circ} \text{ Tareas Ejecutadas}}{N^{\circ} \text{ Tareas Planeadas}}$	Razón
		Confirmación del Proceso (CdP)	$CdP = \frac{N^{\circ} \text{ CdP Ejecutados}}{N^{\circ} \text{ CdP Planeados}}$	Razón
Variable dependiente: Tiempo de parada de equipos de operaciones	Por el proceso de voladura, todas las operaciones en mina dentro del radio de influencia de voladura, quedan paralizadas, causando una disminución en la producción de mineral.	Tiempo de Parada de Palas por Voladura (TP)	$T.P. = \frac{\text{Tiempo de Parada de Pala por Voladura}}{\text{Tiempo de Para de Pala por Voladura Planeada}}$	Razón
		Gestión de tiempo (GT)	$GT = \frac{N^{\circ} \text{ de voladuras ejecutadas a tiempo}}{N^{\circ} \text{ de voladuras ejecutadas}}$	Razón

Nota. Elaboración propia

1.8. Limitaciones

Como parte de las limitaciones, dado que los colaboradores de la empresa minera trabajan en dos turnos (día y noche), la investigación debe contemplar una organización del tiempo y visitas a mina de forma planificada, dado que se deben evaluar tanto los turnos de día y de noche, así como las diferentes guardias para asegurar los resultados de la investigación. Además, esta investigación se limita al proceso de extracción de mineral, basándose en información recopilada del área de operaciones mina, donde se implementa el proyecto.

1.9. Metodología de la Investigación

1.9.1. Método de la Investigación

La presente investigación, aborda el método cuantitativo, debido a que contempla premisas generales basados en la recopilación y análisis de datos que se pueden cuantificar por ser de naturaleza numérica (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Como parte del estudio,

se realizará un estudio de tiempos tanto antes como después de la implementación destacando la aplicación de un Sistema de Excelencia operacional para estandarizar el proceso de voladura. De esta manera, se generan conclusiones específicas que den respuesta a los objetivos planteados inicialmente.

1.9.2. Tipo de Investigación

La investigación tiene como objetivo principal la aplicación práctica del conocimiento para resolver problemas concretos (Alvarez, 2020). Los tipos de la investigación que se aplican, son la investigación descriptiva y la investigación explicativa. En el presente estudio, se tiene como finalidad aplicar la teoría existente (Sistema de Excelencia operacional) para solucionar un problema real en la empresa de estudio (proceso no estandarizado en la voladura).

La investigación será de tipo descriptiva porque se detallará el proceso de voladura de la empresa minera, considerando tanto sus actividades, responsables, características, indicadores y otros datos relevantes para la investigación, con el propósito de conocer cómo se lleva en la actualidad del proceso de voladura. De igual forma, la investigación será de tipo explicativa, puesto que se comprenderán por qué el proceso de voladura no es el óptimo e identificando las causas el problema, se implementará un Sistema de Excelencia Operacional para obtener la estandarización del mencionado del proceso, aportado así a la mejora continua de la empresa minera objeto de estudio. El nivel explicativo se centra en explicar el comportamiento de las variables, es decir la causa efecto (Condori, 2020). Para este estudio, el nivel explicativo ya que se analizará el efecto que tiene el método Shingo en la estandarización del proceso de voladura.

1.9.3. Nivel de la Investigación

El nivel de investigación del estudio es un pre experimento, dado se aplicará el Sistema de Excelencia Operacional a toda la muestra del estudio; es decir, a todo el proceso de voladura, contemplando tanto los turnos de día como los turnos de noche, obteniendo así los resultados

de la implementación de forma global, dando a conocer así cómo mejoró el proceso de voladora posterior a la implementación de las mejoras. El diseño experimental implica la observación de variables para posteriormente analizarlas y evaluar su efecto (Arias y Covinos, (2021).

1.10. Cobertura de estudio

1.10.1. Población

La población del estudio se encuentra conformada por todos los superintendentes, jefes, analistas y operarios que trabajan y están involucrados dentro del proceso de voladura y despeje de área para voladura, los cuales son un total de 413 trabajadores.

1.10.2. Muestra

La muestra del estudio contempla a los 413 trabajadores del proceso de voladura, debido a la relevancia que tiene este proceso dentro de toda la cadena de producción de la empresa minera; por tanto, se trabajará con todas guardias del proceso de voladura, por lo cual se analizará el desempeño de todas las guardias durante el 2023 - 2024 y se analizará las mejoras en todas las guardias respecto al proceso de voladura, siendo así la muestra de tipo censal.

1.10.3. Muestreo

El tipo de muestreo que se aplicará es un muestreo por conveniencia, debido a que se trabajará la investigación con cada una de las guardias, pero tomando los datos de cada guardia de acuerdo con la disponibilidad y accesibilidad de los trabajadores en el momento donde se desea tomar la data.

1.11. Técnicas e instrumentos

1.11.1. Técnicas de la investigación

La técnica que se utilizará en la presente investigación es la observación, debido a que se realizará la observación directa a cada una de las guardias de trabajo del proceso de voladura, obteniendo así información directa de los trabajadores. Como parte de la información

recopilada, se analizará el método de trabajo aplicado tanto antes como después de la mejora, así como los tiempos de ejecución de cada una de las actividades.

1.11.2. Instrumentos de la Investigación

Como instrumento, se utilizará la ficha de observación, las cuales registrarán los datos de cómo se lleva a cabo el proceso de voladura realizado por cada una de las guardias, así como el tiempo de ejecución de cada actividad.

1.12. Procesamiento Estadístico de la Información

Como parte del procesamiento estadístico de la información, se obtendrán los datos directamente del ERP de la empresa, los mismos que serán trasladados a un archivo Excel para analizar los datos antes de la implementación como después de la implementación, evaluando así si las mejoras son significativas.

1.13. Matriz de Consistencia

Tabla 2
Matriz de Consistencia

Implementación De un Sistema de Excelencia Operacional Para La Estandarización Del Proceso De Voladura De Una Empresa Minera Del Sur Del Perú, 2024										
Identificación del problema	Formulación del problema		Objetivos		Hipótesis	Variables	Definición	Dimensión	Indicadores	Aspectos metodológicos
	Problema principal	Problemas específicos	Objetivo Principal	Objetivos Específicos	Hipótesis Principal					
Falta de estandarización del proceso de voladura, causando tiempos prolongados de paralización de operaciones, horas de inoperatividad de equipos y retrasos respecto a la hora de disparo de voladura	¿En qué medida la implementación de un sistema de excelencia operacional para la estandarización del proceso de voladura disminuye los tiempos de parada de equipos en una minera del sur del Perú, 2024?	¿Cuál es el proceso actual de voladura en la empresa minera del sur del Perú?	Implementar un Sistema de Excelencia operacional para la estandarización del proceso de voladura para disminuir los tiempos de parada de equipos en una empresa minera del sur del Perú, 2024.	Analizar el proceso actual de voladura en la empresa minera del sur del Perú.	Es posible que la implementación de un Sistema de Excelencia para estandarizar el proceso de voladura disminuya los tiempos de parada de equipos en una empresa minera del sur del Perú, 2024.	Estandarización del proceso de Voladura	Es un conjunto de actividades y procedimientos que se llevan a cabo para establecer métodos uniformes y consistentes para la realización de tareas o la elaboración de productos (Saavedra, 2024).	Adherencia al Plan	$AP = \frac{N^{\circ} \text{ Tareas Ejecutadas}}{N^{\circ} \text{ Tareas Planeadas}}$	Diseño y tipo de investigación: Preexperimental, aplicada, Población y Muestra: 413 trabajadores del proceso de voladura Técnicas e instrumentos: Observación, ficha de observación
		¿Qué herramientas de excelencia operacional implementar para obtener mejoras en el proceso de voladura de la empresa minera del sur del Perú?		Aplicar una metodología basada en excelencia operacional para obtener mejoras en el proceso de voladura de la empresa minera del sur del Perú				Confirmación de Proceso y Rol	$CdP = \frac{N^{\circ} \text{ CdP Ejecutados}}{N^{\circ} \text{ CdP Planeados}}$	
		¿Cuáles son los resultados de la estandarización de los procesos de voladura de la empresa minera del sur del Perú?		Medir los resultados de la estandarización de los procesos de voladura de la empresa minera del sur del Perú.				Tiempo de uso de pala	$T.P. = \frac{\text{Tiempo de Parada de Pala por Voladura}}{\text{Tiempo de Parada de Pala por Voladura Planeada}}$	
		¿Cuáles son los beneficios económicos de la implementación de la estandarización en la empresa minera del sur del Perú?		Cuantificar los beneficios económicos de la implementación de la estandarización en la empresa minera del sur del Perú.				Tiempo de Parada de Operaciones	$GT = \frac{N^{\circ} \text{ de voladuras ejecutadas a tiempo}}{N^{\circ} \text{ de voladuras ejecutadas}}$	

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Otto y Lindeque (2021) desarrolló un artículo en *Southern African*, con el fin de mejorar la productividad en la mina a cielo abierto Kolomela mediante una mejor planificación minera a corto plazo (STMP). El método utilizado fue de tipo aplicado, diseño experimental y enfoque cuantitativo. Los resultados fueron que, se desarrolló la transición a un proceso STMP mejorado, que integra toda la cadena de valor de la minería a cielo abierto. De esta manera, se mejoró la utilización del área minera en el tajo Leeuwfontein del 71% al 90%. Reducción de la frecuencia de las voladuras en un 14% y aumento del tamaño promedio de las voladuras en un 17%. Disminución de la distancia recorrida durante la reubicación de las palas entre fases mineras en un 16% y reducción del tiempo perdido asociado con la reubicación de las perforadoras en un 53%. Incremento del 11% en la tasa de carga de la pala principal de desechos de 0,9 Mt/mes en 2019 a 1,0 Mt/mes en 2020. Las conclusiones del estudio indican que la implementación del proceso STMP mejorado y el uso del MOS han resultado en una mejora significativa de la productividad en la mina Kolomela.

Qiang et al. (2022) tuvo como finalidad mejorar la recuperación de carbón en la mina de carbón de Yushuling mediante la implementación de un método de pre-corte de voladura que considera las propiedades físicas y mecánicas del carbón y el macizo rocoso. El método fue de tipo aplicado, diseño experimental y enfoque cuantitativo. Se utilizó parámetros de perforación con voladura como un diámetro de perforación de 75 mm y una distancia entre pozos de aproximadamente 4 m. Las herramientas utilizadas para obtener estos resultados fueron técnicas de simulación numérica, la mejora del proceso y pruebas de campo para identificar los parámetros óptimos de perforación y estructura de carga. De esta manera, se

obtuvo que la resistencia a la compresión y a la tracción uniaxial de la veta de carbón fueron de 23,06 MPa y 0,78 MPa, respectivamente. La roca del techo principal tuvo valores promedio de resistencia a la compresión y tracción uniaxial de 46,36 MPa y 2,32 MPa, respectivamente. La tasa máxima de recuperación de carbón de la cara de derrumbe del FMTC 110501 aumentó de 40% a más de 80%. Se concluye que el método de pre-corte por voladura es efectivo para aumentar significativamente la tasa de recuperación de carbón.

Moncayo (2022) realizó un estudio en Ecuador con el objetivo de optimizar el proceso de perforación y voladura para mejorar la granulometría del material volado en la Concesión Minera Cerro Grande, ubicada en Durán. Se utilizó un diseño experimental con enfoque cuantitativo, modificando los parámetros geométricos de la malla de perforación. Se evaluó una malla de 3x3 metros como la más adecuada, aplicando un diseño con sobre perforación de 0.9 m, taco de 2.65 m, diámetro de perforación de 76.2 mm, y un exponente de Rosin-Rammler de 1.62. Los resultados mostraron que la optimización en la fragmentación logró una mejora del 22.63% para el pasante acumulado del 95%. Para el 95% de material, donde se encontraban rocas mayores a un metro, se redujo a 807 mm en una malla con distribución triangular. El consumo específico de explosivo se mantuvo constante en 0.35 kg/m³. Las herramientas fueron el análisis de la distribución de tamaño de fragmentos y la simulación de la malla de perforación para determinar la granulometría óptima. La conclusión fue que, al cambiar la malla de perforación a 3x3 metros y aumentar el número de perforaciones, se logró una mejora significativa en la fragmentación sin aumentar el consumo de explosivos. Además, se redujo el tiempo necesario para la disminución de rocas grandes de 37.4 horas a 31.7 horas, lo que representa una mejora del 15.4% en eficiencia temporal.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Estela y Estela (2020) realizaron un estudio con la finalidad de evaluar la eficacia de la voladura controlada para mejorar los avances en las labores de mina subterránea. Se adoptó

un enfoque cuantitativo explicativo con un diseño experimental. La metodología incluyó el análisis de optimización de la voladura controlada, utilizando una muestra de cinco trabajadores con tres años de experiencia. Los resultados principales mostraron que: El 60% de las condiciones óptimas evaluadas indicaron que la voladura controlada produce superficies lisas y estables. Otro 60% consideró que esta técnica reduce las vibraciones y la sobreexcavación, en comparación con métodos tradicionales. La conclusión del estudio, respaldada por datos cuantitativos, establece que la implementación de una voladura controlada con un diseño de malla ajustado y el uso de explosivos de baja potencia, no solo mejora los patrones de las labores unitarias, sino que también reduce el costo en un porcentaje significativo, aumentando el rendimiento de perforación y voladura.

Arbulú y Carrasco (2021) pretendían maximizar la fragmentación de la roca mediante la planificación y modelización de la perforación y voladura. Los problemas de fragmentación provocados por las voladuras y perforaciones dieron lugar a este estudio. Se utilizó un diseño no experimental y una metodología de investigación sencilla para tratar una muestra creada por la Galería 1. En última instancia, esto condujo a una optimización del 56,82% de la fragmentación de la roca. Todos los hallazgos fueron expuestos mediante tablas, figuras y gráficos junto con la correspondiente explicación y análisis que apoyaron la teoría de que, si se planifican y simulan las voladuras y perforaciones, la fragmentación de la roca en la Unidad de Producción Pallasca, Ancash aumentando la productividad en más del 20%, este trabajo permite concluir que el diseño y simulación de la perforación y voladura, facilitan una fragmentación óptima, lo que asegura un mejor tratamiento en los procesos siguientes.

Cubas y Urcia (2023) tuvo como fin, diseñar una malla de perforación y voladura para ahorrar costos de operación en un proyecto de la Unidad de Producción Cedro. El estudio tiene un nivel descriptivo y es de tipo aplicada con diseño experimental. Finalmente, se determinó que la implementación de la malla de perforación y voladura sugerida redujo los costos iniciales

de perforación y voladura de 53,1 US\$ y 101,5 US\$, respectivamente, a un estimado de 56,28 US\$ y 115,4 US\$ para las actividades de perforación y voladura después de la mejora. Con el concepto de diseño de la malla, el análisis de costes logró reducir el factor de potencia de cada disparo en un 22% y el coste por tonelada rota en 8,8 US\$.

2.1.3. Antecedentes locales

Machero y Salazar (2021) El objetivo de este estudio es analizar el cambio de la longitud de perforación para aumentar la productividad en la galería 700 SW de la unidad minera Pallasca. Dado que la galería 700 SW es donde se llevan a cabo las operaciones de perforación y voladura de roca, se consideró como muestra para este estudio. Se utilizó un enfoque de investigación no experimental descriptivo directo. Finalmente, se determinó que los costes aumentaban un 41,73% cuando la longitud de perforación pasaba de 4 a 6 pies. Una longitud de 4 pies produce 283,5 toneladas al mes, mientras que una longitud de 6 pies produce 425,25 toneladas. Al ampliar la longitud de perforación a 6 pies, la producción anual fluctúa en 1701 Tn con respecto a la longitud de 4 pies.

Choque y Hanco (2021) tuvieron como finalidad de conocer las características físicas de los áridos de voladura del túnel de conducción de la central hidroeléctrica San Gabán III. Mediante la aplicación de una técnica cuantitativa y un diseño experimental se obtuvo una muestra representativa de árido de voladura procedente del túnel de conducción de la central hidroeléctrica de San Gabán. Se obtuvo una resistencia media del 55,67% a 28 días de una $f_c=280$ kg/cm² de diseño y una resistencia media a compresión del 60,98% a 28 días de una $f_c=245$ kg/cm² de diseño. Además, un diseño $f_c=245$ kg/cm² alcanzó una resistencia media a la tracción de 19,02 kg/cm² a 28 días, mientras que un diseño $f_c=280$ kg/cm² alcanzó una resistencia media de 19,28 kg/cm² al mismo tiempo. Concluyendo que no es posible usar los agregados de voladura, como concreto del tipo estructural.

Morales (2023) tuvo como objetivo diseñar la perforación para obtener una mejor fragmentación de la roca en el nivel 2995 - GLNE01- UP Santa María. El método empleado fue de tipo aplicado, enfoque cuantitativo y nivel explicativo. Los resultados cuantitativos obtenidos fueron: Para los 9 taladros de alzas y arrastres, se utilizó un total de 2.25 kg de ANFO. Se determinó un total de 13.5 kg de ANFO distribuidos en 25 taladros, con 11.2 kg en los primeros cuatro cuadrantes y 2.25 kg en alzas y zapatas. El burden y espaciamiento variaron entre 0.0918 y 0.73 metros en diferentes cuadrantes y secciones de la malla de perforación. De esta manera, se logró una distribución óptima de la carga explosiva, resultando en una alta eficiencia de la voladura. Las conclusiones destacan que la distribución cuidadosa de la carga explosiva y el diseño de la malla de perforación basado en el método de Holmberg resultaron en una fragmentación óptima de la roca y una voladura eficiente mejoraron la productividad del proceso en más del 20%, evitando vibraciones excesivas y daños a las labores cercanas. Además, se confirmó que no hubo detonaciones simultáneas, y la alta concentración de carga explosiva por tiempo de retardo produjo una alteración pico partícula elevada, lo que indica una fragmentación adecuada del material rocoso.

2.2. Marco Referencial y Legal

2.2.1 Ciclo de Deming

Definición: El ciclo de Deming, también conocido como ciclo PDCA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), es una metodología de mejora continua de la calidad que se basa en cuatro pasos:

Planificar: Establecer los objetivos de la mejora y crear un plan para alcanzarlos.

Hacer: Poner en marcha el plan de mejora.

Verificar: Evaluar los resultados de la mejora y verificar si se han alcanzado los objetivos.

Actuar: Tomar medidas correctivas o preventivas en función de los resultados de la evaluación (Aparicio et al., 2023).

Importancia: Permite mejorar continuamente la calidad de los productos o servicios. Ayuda a prevenir problemas y reducir costos. Aumenta la satisfacción del cliente (Bernuy, 2021).

Beneficios: Mayor calidad de los productos o servicios, menor cantidad de defectos, mayor satisfacción del cliente, mayor productividad y menor costo de la calidad (Bernuy, 2021).

Pasos para la implementación:

- a) Seleccionar un proceso a mejorar: El proceso debe ser importante para la empresa y tener un potencial de mejora significativo.
- b) Formar un equipo de mejora: Establecer un equipo que tengan conocimiento del proceso, con el objetivo de implementar mejoras.
- c) Definir los objetivos de la mejora: Los objetivos deben ser específicos, medibles, alcanzables, relevantes y con un plazo definido (SMART).
- d) Desarrollar un plan de acción: El plan de acción debe definir las actividades que se deben realizar para implementar la mejora.
- e) Implementar el plan de acción: Poner en práctica el plan de acción y monitorear los resultados.
- f) Evaluar los resultados: Evaluar si se han alcanzado los objetivos de la mejora y realizar ajustes necesarios.
- g) Documentar el proceso: Documentar el proceso de mejora para que pueda ser utilizado en otros procesos (Robles, 2022).

2.2.2 *Just in time (JIT)*

Definición: Just in time (JIT) es una filosofía de gestión de la producción basada en producir los productos o servicios cuando se necesiten, en la cantidad exacta que se necesita, y sin generar inventarios innecesarios (Fernandez & Luna, 2020). Uno de los pilares fundamentales del modelo es el uso del sistema Just in Time (JIT), un método que tiene como finalidad optimizar la producción, reduciendo inventarios y asegurando que los materiales lleguen a la línea de producción justo en el momento propicio. El Modelo Shingo integra JIT en su enfoque holístico de la gestión, utilizándolo como una herramienta clave para: Reducir inventarios, JIT elimina la necesidad de almacenar grandes cantidades de materiales en espera, liberando espacio y recursos valiosos. Al producir solo lo que se necesita, en el momento preciso, se minimiza el riesgo de obsolescencia y se evita el desperdicio de espacio de almacenamiento. Mejorar el flujo de trabajo: JIT promueve un flujo de trabajo fluido y continuo, eliminando cuellos de botella y retrasos en la producción. Al sincronizar la producción con la demanda real, se evita la acumulación de productos terminados y se optimiza el uso de la mano de obra (Huntsman, 2024).

Importancia: Reducir los inventarios, mejorar la eficiencia de la producción

La implementación de JIT en este contexto se dividió en cuatro fases:

- a) Identificación del problema: Se analizaron los desafíos específicos relacionados con el montaje del sistema de bombeo.
- b) Descripción y análisis del proceso: Se evaluó detalladamente el proceso existente para identificar áreas de mejora.
- c) Planteamiento de estrategias de solución: Se propusieron estrategias específicas para abordar los problemas detectados.
- d) Mejoramiento del proceso: Se implementaron las soluciones propuestas y se monitoreó constantemente para lograr una mejora continua (Wang, 2021).

2.2.3 SMED (*Single Minute Exchange of Dies*)

Definición: SMED (*Single Minute Exchange of Dies*) es una metodología para optimizar el tiempo de cambio de herramientas en las líneas de producción. El objetivo es reducir el tiempo de cambio a menos de 10 minutos (Donneys, 2022). Al promover la mejora continua y la excelencia operativa. Uno de sus pilares fundamentales es el Sistema de Cambio Rápido de Herramientas (SMED), una técnica para optimizar de manera significativa el tiempo necesario para cambiar las herramientas en los procesos productivos, así como la clasificación de actividades externas e internas según Shingo. En resumen, SMED ofrece un enfoque holístico para la mejora continua que puede ayudar a las empresas a alcanzar la excelencia operativa y obtener una ventaja competitiva (Huntsman, 2024).

Importancia:

- a) Reducir los tiempos de parada de las máquinas
- b) Aumentar la productividad
- c) Reducir los costos
- d) Mejorar la calidad de los productos (Garibay et al., 2021).

Beneficios: Mayor productividad, menor costo de producción y mayor flexibilidad en la producción (Garibay et al., 2021).

Fases para implementación:

- a) Clasificar las actividades internas y externas: Las actividades internas son aquellas que se pueden realizar mientras la máquina está funcionando, mientras que las actividades externas son aquellas que se deben realizar cuando la máquina está parada.
- b) Transformar las actividades internas en externas: Buscar maneras de llevar a cabo las actividades internas mientras la máquina o equipos están operando.

- c) Estandarizar las actividades: Desarrollar un procedimiento estandarizado para el cambio de herramientas.
- d) Eliminar los tiempos de espera: Eliminar los tiempos de espera entre las actividades.
- e) Mejorar la ergonomía: Diseñar un puesto de trabajo ergonómico para facilitar el cambio de herramientas (Gonzales & Idrovo, 2022).

Pasos de implementación:

- a) Formar un equipo de mejora: El equipo debe estar compuesto por personas de diferentes áreas de la empresa que tengan conocimiento del proceso de cambio de herramientas.
- b) Seleccionar un cambio de herramientas a mejorar: El cambio de herramientas debe ser complejo y tener un potencial de mejora significativo.
- c) Analizar el proceso actual: Grabar el proceso actual de cambio de herramientas e identificar las oportunidades de mejora.
- d) Separar las actividades internas y externas: Clasificar las actividades del proceso en internas y externas.
- e) Convertir las actividades internas en externas: Buscar formas de realizar las actividades internas mientras la máquina está funcionando.
- f) Estandarizar las actividades: Desarrollar un procedimiento estandarizado para el cambio de herramientas.
- g) Eliminar los tiempos de espera: Eliminar los tiempos de espera entre las actividades.
- h) Mejorar la ergonomía: Diseñar un puesto de trabajo ergonómico para facilitar el cambio de herramientas.
- i) Probar y ajustar el nuevo proceso: Probar el nuevo proceso de cambio de herramientas y realizar los ajustes necesarios.

- j) Capacitar al personal: Capacitar al personal en el nuevo proceso de cambio de herramientas (Manyari, 2020).

2.2.4 Poka Yoke

Shigeo Shingo desarrollo la técnica de calidad conocida como poka-yoke, que se traduce como a prueba de errores o a prueba de fallos. Su objetivo es establecer procedimientos que hagan imposible que se originen errores. Poka-yoke es cualquier sistema que ayude a detener los errores antes de que se produzcan, hacer que los errores sean demasiado obvios para pasarlos por alto y solucionarlos antes de que ocurran. (Gonzalez & Carro)

2.2.5. Estandarización del proceso

La estandarización de procesos consiste en definir y documentar de manera detallada el procedimiento requerido para realizar una tarea o actividad en particular. Esta documentación sirve como guía para que todas las personas involucradas en el proceso sigan los mismos pasos de manera uniforme, reduciendo la variabilidad y asegurando resultados confiables (Bello et al., 2023). Uno de sus pilares fundamentales es la estandarización, una herramienta clave para:

Reducir la variabilidad: La estandarización establece procedimientos y métodos uniformes para realizar tareas y procesos, lo que minimiza la variabilidad y asegura la consistencia en los resultados. Esto reduce la probabilidad de errores y defectos, mejorando la calidad general de los productos y servicios.

Facilitar la capacitación: Al contar con procedimientos estandarizados, la capacitación de nuevos empleados se vuelve más eficiente y efectiva. Los trabajadores aprenden a realizar las tareas de manera correcta desde el principio, lo que reduce el tiempo de capacitación y aumenta la productividad. Este no se limita a simplemente establecer estándares, sino que promueve un enfoque dinámico y participativo para la estandarización. Los empleados son involucrados en el proceso de desarrollo de estándares, lo que genera un mayor compromiso y aceptación (Huntsman, 2024).

La estandarización de procesos aporta una serie de beneficios cruciales para el ámbito de la ingeniería:

- a) **Eficiencia optimizada:** Al establecer métodos uniformes, se eliminan las variaciones innecesarias y se reduce tanto el tiempo, como los recursos requeridos para que las tareas sean consideradas como completas, resultando en una mayor productividad en los procesos de ingeniería.
- b) **Calidad consistente:** La estandarización permite controlar los procesos de manera más efectiva, lo que reduce la cantidad de errores y defectos en los productos o proyectos. Esto se traduce en resultados con una mayor calidad y confiabilidad.
- c) **Seguridad mejorada:** Al establecer procedimientos seguros y consistentes, se minimiza el riesgo de lesiones y accidentes en el trabajo. La estandarización contribuye a crear un entorno laboral más seguro y saludable (Velásquez et al. 2023).

La calidad de proceso (CP): Se refiere a la medida en que un proceso cumple consistentemente con los estándares establecidos para producir productos o servicios que satisfagan las necesidades y expectativas de los clientes. En otras palabras, se trata de la capacidad de un proceso para generar resultados de alta calidad de manera consistente (Camacho, 2021).

Gestión de tiempo (GT): Es el proceso de planificar, organizar y controlar el tiempo de manera efectiva para lograr objetivos específicos. Implica utilizar técnicas y herramientas para maximizar el uso del tiempo, minimizar las distracciones y aumentar la productividad (Valerio, 2023).

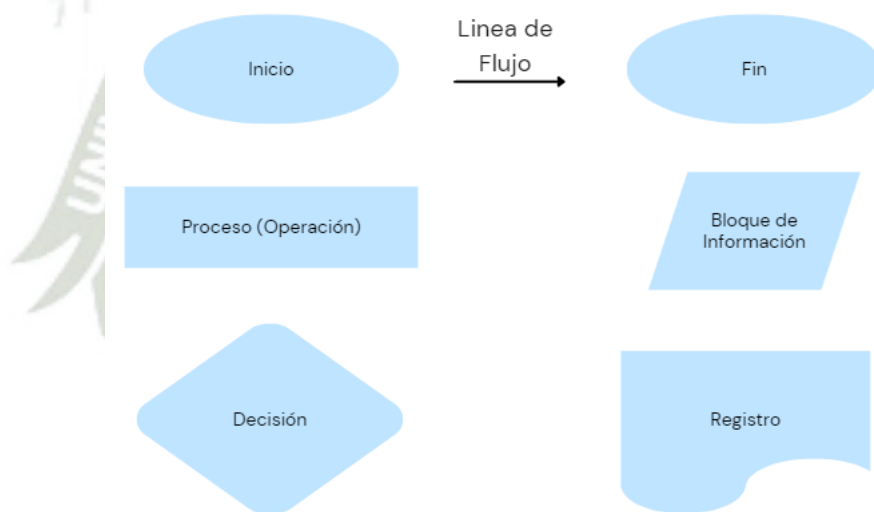
Cumplimiento (C): Se refiere al acto de cumplir con normas, leyes, regulaciones, estándares o requisitos específicos. Implica seguir las reglas y procedimientos establecidos para garantizar la seguridad, la calidad, la ética o la legalidad de las actividades (Granda, 2020).

2.2.6. Principales Herramientas de mejora

El Diagrama de Flujo de Procesos es otra herramienta empleada en la elaboración de mapas de procesos. Esta técnica es muy efectiva para visualizar y representar gráficamente las acciones realizadas en un proceso de manera precisa y detallada (Reyna, 2021).

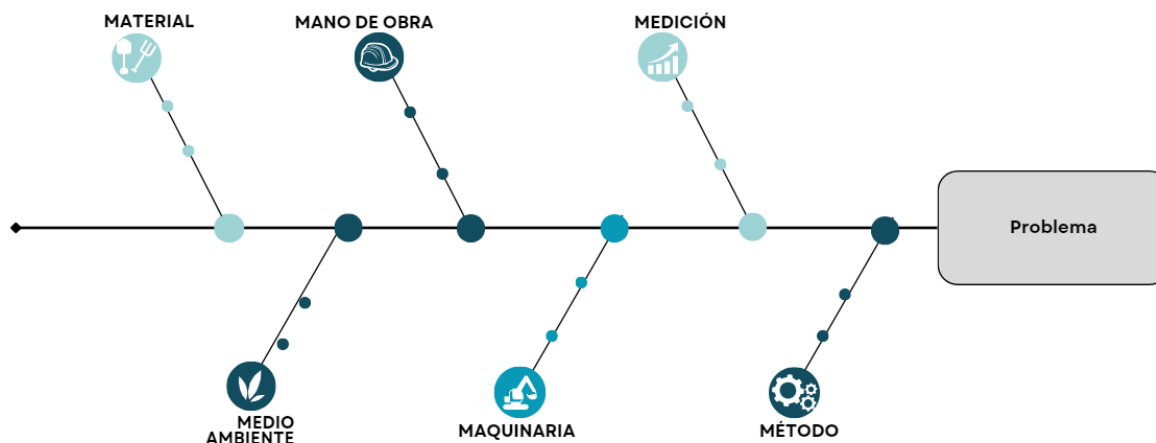
Figura 1

Símbolos Diagrama de Flujo



Nota. Elaboración propia

El diagrama de espina de pescado se muestra como una herramienta eficaz para descubrir y mostrar las diversas causas que pueden afectar la calidad de un proceso. Además, este diagrama también se utiliza como una técnica efectiva para fomentar el pensamiento creativo y resolver problemas de manera más abierta y amplia (Burgasí et al., 2021).

Figura 2*Diagrama de causa y efecto*

Nota. Elaboración propia

El efecto o dificultad que se analiza se representa al final de una flecha horizontal en el diagrama. A continuación, se muestran las posibles causas como flechas etiquetadas que se ramifican desde la flecha principal. A medida que se exploran las causas principales, es posible identificar sub-causas adicionales que se representan mediante flechas secundarias que se conectan a las principales. La técnica de lluvia de ideas se puede utilizar de manera efectiva para generar ideas e identificar tanto las causas principales como las sub-causas (Burgasí et al., 2021).

Estandarización de procesos: Es el proceso de establecer normas y procedimientos claros y consistentes para llevar a cabo una tarea o proceso de manera eficiente y efectiva. La estandarización de procesos busca eliminar variaciones innecesarias, mejorar la calidad, reducir los errores y optimizar el rendimiento. Esto se logra estableciendo reglas, instrucciones y mejores prácticas que deben seguirse de manera uniforme en todas las etapas del proceso (Aldea, 2021).

Plan de capacitaciones: Para estandarizar procesos es un conjunto de actividades y programas diseñados para mejorar las habilidades y conocimientos del personal de una empresa en relación con la estandarización de procesos. Este plan busca proporcionar a los empleados las herramientas necesarias para comprender, implementar y mantener estándares consistentes en todas las etapas del proceso de producción (Morales et al., 2020).

2.2. Marco Conceptual

- **Diseño de voladura:** Planificación y cálculo de la ubicación, tamaño y tipo de explosivos necesarios para fragmentar la roca de manera eficiente y segura. Se refiere a la planificación y diseño de las operaciones mineras subterráneas. En este proceso, se determina la disposición de los túneles, galerías y cámaras en una mina subterránea para maximizar la extracción de minerales de manera segura y eficiente. Se tiene en cuenta varios factores, como la geología del yacimiento, la ubicación de los minerales de interés, la estabilidad de las rocas, la ventilación y el acceso para el personal y los equipos. También se consideran aspectos de seguridad, como la prevención de derrumbes y la gestión de riesgos (Zea & Noa, 2021).
- **Fragmentación:** Rotura de la roca en trozos de tamaño adecuado para su posterior extracción y procesamiento. Este proceso puede involucrar la fragmentación de rocas o minerales para facilitar su extracción o procesamiento. Es una etapa importante en la operación minera, ya que puede afectar la eficiencia y los costos de la extracción y procesamiento de los materiales minerales (Arbulú & Carrasco, 2021).
- **Vibraciones:** Oscilaciones del terreno generadas por la detonación de explosivos, que pueden afectar a estructuras e instalaciones cercanas. Se refieren a los movimientos oscilatorios que se generan como resultado de diversas actividades, como las voladuras controladas o el funcionamiento de maquinaria pesada en la industria minera. Estas vibraciones pueden propagarse a través del suelo y afectar tanto la

estabilidad de las estructuras cercanas como el bienestar de las personas que trabajan en la mina o viven en áreas circundantes (Yaranga, 2021).

- Voladura controlada: Técnica de voladura que permite fragmentar la roca de manera controlada, minimizando las vibraciones y el lanzamiento de fragmentos. Se emplea para reducir la posibilidad de que la roca se fracture fuera de los límites previstos de las regiones de excavación primaria. La geología de la formación rocosa que se va a romper determina la eficacia de estos métodos. (Quispe & Yupanqui, 2023).
- Seguridad: Conjunto de medidas y procedimientos para prevenir accidentes y proteger la salud de los trabajadores durante el proceso de voladura (Zondo, 2021).
- Monitoreo ambiental: Control de los niveles de ruido, polvo y gases generados por la voladura para asegurar que las normas ambientales sean cumplidas. Consiste en la recolección sistemática de datos y la evaluación constante de las condiciones del entorno natural con el fin de comprender mejor el estado de los ecosistemas, identificar posibles impactos y tomar medidas oportunas para su conservación. Implica la medición y análisis de variables físicas, químicas y biológicas durante un período de tiempo determinado. Estos datos proporcionan información precisa y objetiva que respalda la toma de decisiones informadas en relación con el ambiente (Sepúlveda, 2022).
- Explosivos: Sustancias químicas que reaccionan exotérmicamente liberando una gran cantidad de energía en forma de calor, gases y ondas de choque. son sustancias químicas utilizadas para romper la roca que contiene el mineral que se desea extraer. Estas sustancias tienen la capacidad de transformarse rápidamente en gases a alta temperatura y presión, generando una onda expansiva que fractura la roca y exponen el material (Cubas & Urcia, 2023).

Hay diferentes tipos de explosivos utilizados en la minería, como la emulsión, que es un explosivo líquido formado por una mezcla de agua, nitrato de amonio y otros componentes (Cubas & Urcia, 2023).

- **Detonación:** Inicio de la reacción química explosiva que libera la energía de los explosivos. Se refiere al proceso de fracturar la roca utilizando explosivos. Para llevar a cabo una voladura, se realiza una perforación en la roca utilizando taladros, ya sean eléctricos, neumáticos o hidráulicos. Luego, se introduce el explosivo en la perforación, junto con un iniciador o detonador. El explosivo puede ser detonado mediante un sistema eléctrico o una mecha o cordón detonante (Moncayo, 2022).
- **Esquema de disparo:** Secuencia en la que se detonan los explosivos para lograr la fragmentación adecuada de la roca. Este esquema está diseñado para maximizar la eficiencia y seguridad de las operaciones mineras. El diagrama de disparo muestra la ubicación y la secuencia en la que serán detonados, también indica la cantidad de explosivos que se utilizarán en cada disparo y la forma en que se distribuirán en la mina subterránea. El objetivo principal del esquema de disparo es fragmentar el mineral de manera controlada para facilitar su extracción (Moncayo, 2022).
- **El Ciclo de Deming:** Metodología de mejora continua, la cual tiene 4 pasos: Planificar, hacer, verificar y actuar. Es una herramienta poderosa que permite a las empresas mejorar de manera continua, adaptarse a los cambios del mercado y optimizar sus procesos. Al aplicar este ciclo, las organizaciones pueden lograr una mayor eficiencia, calidad y satisfacción del cliente, lo que contribuye a su éxito y competitividad (Salazar, Mora, Romero, & Ollague, 20220).
- **Just in Time (JIT):** Filosofía de gestión de la producción que busca optimizar el flujo de materiales y productos. se basa en la idea de producir solo lo necesario, ni antes ni después, para evitar la acumulación de inventario y reducir los costos asociados a su

almacenamiento. Este enfoque se centra en la demanda de los clientes y busca eliminar cualquier actividad que no agregue valor al proceso de producción (Wang, 2021).

Algunas de las características y ventajas del JIT son las siguientes: Simplificación de la producción y eliminación de complicaciones innecesarias. Enfoque en la demanda de los Clientes, produciendo solo lo que se necesita. Reducción de inventarios y costos asociados al almacenamiento. Mejora de la Calidad del Producto y Reducción de Fallas. Mayor flexibilidad y capacidad de adaptación de la empresa (Wang, 2021).

- SMED (Single Minute Exchange of Dies): Metodología destinada a reducir el tiempo necesario para cambiar las herramientas durante la fabricación. Es una metodología que pretende aumentar la productividad y la eficacia de las líneas de fabricación. Se pueden racionalizar los procesos de producción y eliminar las actividades innecesarias reduciendo el tiempo necesario para cambiar de herramientas o procedimientos. El objetivo es reducir el tiempo de preparación de las máquinas, sobre todo el necesario para cambiar las herramientas y ajustar los equipos. (Azalgará, 2021).
- Desperdicios: La filosofía de trabajo basada en las personas conocida como «fabricación ajustada» describe cómo mejorar y optimizar un sistema de producción concentrándose en localizar y deshacerse de cualquier «despilfarro», que se define como procedimientos o actividades que consumen más recursos de los absolutamente necesarios. Destaca una serie de tipos de «residuos» relacionados con la producción, como el plazo de entrega, el exceso de producción, el inventario, el movimiento, el exceso de procesamiento, el transporte y los fallos. Se examina lo que no debemos hacer, ya que tiende a eliminar al consumidor y no crea valor. (Universidad Politécnica de Madrid, 2013)
- Equipos de carguío: Son maquinarias utilizadas para cargar materiales, como tierra, arena, grava o minerales, en camiones, tolvas o vagones de ferrocarril (Vergara, 2014).

- Cebado de pozos: Es el proceso de llenar un pozo con agua o lodo antes de perforar. El objetivo es estabilizar las paredes del pozo y evitar que se derrumben durante la perforación (Vergara, 2014).
- Booster: Es un explosivo empleado para optimizar la detonación de la columna explosiva, contribuyendo a incrementar la velocidad de detonación (CODELCO).
- Detonador: Dispositivo que permite iniciar altos explosivos, en su interior tienen dos explosivos uno primario y otro secundario, de alta sensibilidad (CODELCO).
- Pozos: Perforaciones realizadas por las perforadoras, las cuales son llenadas de explosivos para realizar la voladura.
- Disparo: El disparo se refiere a la detonación de explosivos para romper rocas o minerales. Esta técnica se utiliza para crear túneles, pozos y otras aberturas en la tierra (Vergara, 2014).
- Demarcación: Es el proceso de marcar los límites de un área específica. Se utiliza en diversos contextos, como la construcción, la minería y la agricultura (Vergara, 2014).
- Tronadora: Es un dispositivo explosivo utilizado para romper rocas o minerales. Las tronadoras se cargan con explosivos y se detonan de forma remota (Vergara, 2014).
- Disipación de gases: Se refiere a los gases liberados a la atmósfera producto de la detonación del disparo de voladura, los cuales deben de ser disipados (CODELCO).
- Mineral: Una masa rocosa mineralizada o un recurso que puede extraerse y explotarse para obtener beneficios económicos se denomina término minero. Por ello, el mineral se distingue de mineral y esteril, que tienen escaso valor económico. (CODELCO).
- Cobre Fino: Es el cobre puro encontrado en el yacimiento.
- Recuperación Metalúrgica: Es la relación existente entre el mineral obtenido en el concentrado y la masa que contiene a dicho mineral, es decir el cobre fino recuperado.

- Ley de Cobre: Es la proporción de cobre presente en una determinada muestra. Una ley del 1% indica que hay un kilogramo de cobre puro por cada 100 kilogramos de roca mineralizada. (CODELCO)

2.3. Base legal

Marco Legal General:

a) Constitución Política del Perú:

Artículo 68: "El Estado protege el derecho a un ambiente sano para el desarrollo de la persona y el equilibrio ecológico. Es deber del Estado preservar la conservación de la diversidad biológica."

b) Ley General del Ambiente:

Ley N° 29785: Establece los principios y normas básicas para la gestión ambiental en el Perú.

Artículo I: "La presente Ley tiene por objeto establecer los principios y normas básicas para la gestión ambiental en el Perú, con el fin de asegurar un ambiente sano, equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, preservando la conservación de la diversidad biológica, y garantizando el derecho a un ambiente saludable para las personas."

c) Ley de Minería:

Ley N° 21642: Regula la actividad minera en el Perú.

Artículo I: "La presente Ley regula la actividad minera en el Perú, con el fin de promover su desarrollo sostenible, en armonía con el ambiente, la salud de las personas y el desarrollo humano, contribuyendo al bienestar de la Nación."

Marco Legal Específico para la Actividad Minera:

- i. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería: Aprobado por Decreto Supremo N° 024-2016-TR, este reglamento establece las normas generales de seguridad y salud ocupacional que deben cumplirse en las actividades mineras, incluyendo el proceso de voladura.
- ii. Norma Técnica Peruana NTP 330.033:2013 - Seguridad en trabajos con explosivos en la minería: Esta norma establece requisitos específicos para la seguridad en el uso de explosivos en la minería, incluyendo el transporte, almacenamiento, manipulación, carga, detonación y eliminación de explosivos. Algunos de los aspectos más relevantes que se regulan en esta norma son:
 - a) Requisitos para los explosivos: Los explosivos que se utilicen en la minería deben cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en la norma.
 - b) Transporte y almacenamiento: El transporte y almacenamiento de explosivos debe realizarse en condiciones seguras que eviten accidentes.
 - c) Manipulación y carga: La manipulación y carga de explosivos debe realizarse por personal capacitado y utilizando equipos adecuados.
 - d) Detonación: La detonación de explosivos debe realizarse siguiendo procedimientos seguros que minimicen el riesgo de accidentes.
 - e) Eliminación de explosivos: Los explosivos que no se utilicen deben eliminarse de manera segura siguiendo los procedimientos establecidos en la norma.
- iii. Reglamento de Actividades Mineras:
Decreto Supremo N° 040-2014-EM: Establece las normas para la realización de las actividades mineras en el Perú.
Artículo 32: "La voladura es una actividad minera que debe realizarse de acuerdo con un plan de voladura aprobado por la autoridad competente."

Artículo 33: "El plan de voladura debe incluir, como mínimo, la siguiente información:

- a) Los objetivos de la voladura.
 - b) La descripción del área a volar.
 - c) Los tipos y cantidades de explosivos a utilizar.
 - d) Los métodos de carga y disparo de los explosivos.
 - e) Las medidas de seguridad que se adoptarán."
- iv. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en la Actividad Minera:
Decreto Supremo N° 055-2010-TR: Establece las normas de seguridad y salud en el trabajo para la actividad minera en el Perú.
Artículo 76: "La voladura es una actividad minera que debe realizarse de acuerdo con las siguientes normas de seguridad:
- a) Los trabajadores que realicen o supervisen la voladura deben estar capacitados y entrenados en la materia.
 - b) Se deben utilizar equipos de protección personal adecuados para la actividad.
 - c) Se deben adoptar medidas de seguridad para proteger a los trabajadores y al público de los riesgos de la voladura."

Marco Legal para la Mejora de Procesos:

- i. Ley de Promoción de la Inversión en Investigación y Desarrollo:

Ley N° 30302: Promueve la inversión en investigación y desarrollo en el Perú.

Artículo I: "La presente Ley tiene por objeto promover la inversión en investigación y desarrollo científico y tecnológico en el Perú, con el fin de contribuir al desarrollo económico, social y ambiental del país."

ii. Reglamento de la Ley de Promoción de la Inversión en Investigación y Desarrollo:

Decreto Supremo N° 036-2016-ME: Establece las normas para la aplicación de la Ley de Promoción de la Inversión en Investigación y Desarrollo.

Artículo 3: "Son objetivos específicos de la presente Ley:

- a) Fomentar la inversión en investigación y desarrollo científico y tecnológico en el Perú.
- b) Fortalecer la capacidad científico-tecnológica del país.
- c) Contribuir al desarrollo de nuevos productos, procesos y servicios.
- d) Mejorar la competitividad de las empresas peruanas."

iii. El Decreto Supremo N°024-2016:

Este decreto es de suma importancia para regular las empresas mineras, las cuales realizan constantemente actividades de voladura. En ella, se establece una distancia de 500 metros para las voladuras en tajo abierto. Esta medida busca garantizar la seguridad y prevenir riesgos asociados a las explosiones en actividades mineras.

Conclusión:

El desarrollo del presente estudio se encuentra justificada por el marco legal vigente en el Perú, el cual establece la necesidad de:

- Proteger el ambiente: La actividad minera debe realizarse de manera sostenible, preservando el ambiente, seguridad y la salud de las personas.
- Promover el desarrollo sostenible de la actividad minera: La voladura es una actividad minera importante que debe realizarse de manera eficiente y segura, contribuyendo al desarrollo sostenible de la actividad minera.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS SITUACIONAL

3.1. Descripción de la Empresa

La empresa correspondiente al rubro minera dedicada a la extracción y procesamiento de cobre ubicada al sur del Perú, a más de 4000 m.s.n.m. Esta se destaca en la industria de la minería por su estricto cumplimiento en los estándares de seguridad y del cuidado del ambiente. Con una ubicación estratégica en una región rica en recursos naturales, esta mina desempeña un papel vital en el sector minero y contribuye significativamente a la economía del país. Esta mina en particular se enfoca en la extracción de cobre, un metal ampliamente utilizado en diversas industrias, usado principalmente en el sector de la construcción, infraestructura, transporte, sector energético eléctrico, etc. La mina cuenta con tecnología y equipos de vanguardia para llevar a cabo operaciones mineras eficientes y seguras. También se toman en cuenta las medidas de protección ambiental para minimizar el impacto en la biodiversidad local y garantizar una operación sostenible. Además, se tiene un constante compromiso con las comunidades locas, así como en las zonas de influencias. Proporciona empleo a una gran cantidad de trabajadores locales, lo que contribuye al desarrollo y bienestar de la región.

3.2. Cultura Organizacional

3.2.1. Misión

Misión: “Ser líderes en la industria minera del sur del Perú, garantizando la máxima productividad y eficiencia en nuestras operaciones, mientras cumplimos con las más estrictas normativas de seguridad y salud ocupacional. Comprometidos con la excelencia operacional en nuestros procesos para maximizar la producción.”

3.2.2. Visión

Visión: “Convertirnos en un modelo de innovación y sostenibilidad en la minería, donde cada proceso se realiza con la mayor precisión y cuidado, asegurando no solo la

rentabilidad sino también el bienestar de nuestros trabajadores y el respeto por el medio ambiente. Aspiramos a ser reconocidos por nuestra capacidad para superar los desafíos operativos y por nuestra contribución al desarrollo económico de la región.”

3.2.3. Valores

- a) Seguridad: Priorizamos la seguridad de nuestro personal y cumplimos con todas las regulaciones para garantizar un entorno de trabajo seguro.
- b) Integridad: Operamos con transparencia, honestidad y responsabilidad.
- c) Innovación: Buscamos constantemente nuevas tecnologías y métodos para mejorar nuestras operaciones.
- d) Respeto: Valoramos a cada miembro de nuestro equipo y fomentamos un ambiente de respeto mutuo.
- e) Compromiso con el medio ambiente: Nos esforzamos por minimizar nuestro impacto ambiental y promover prácticas sostenibles.

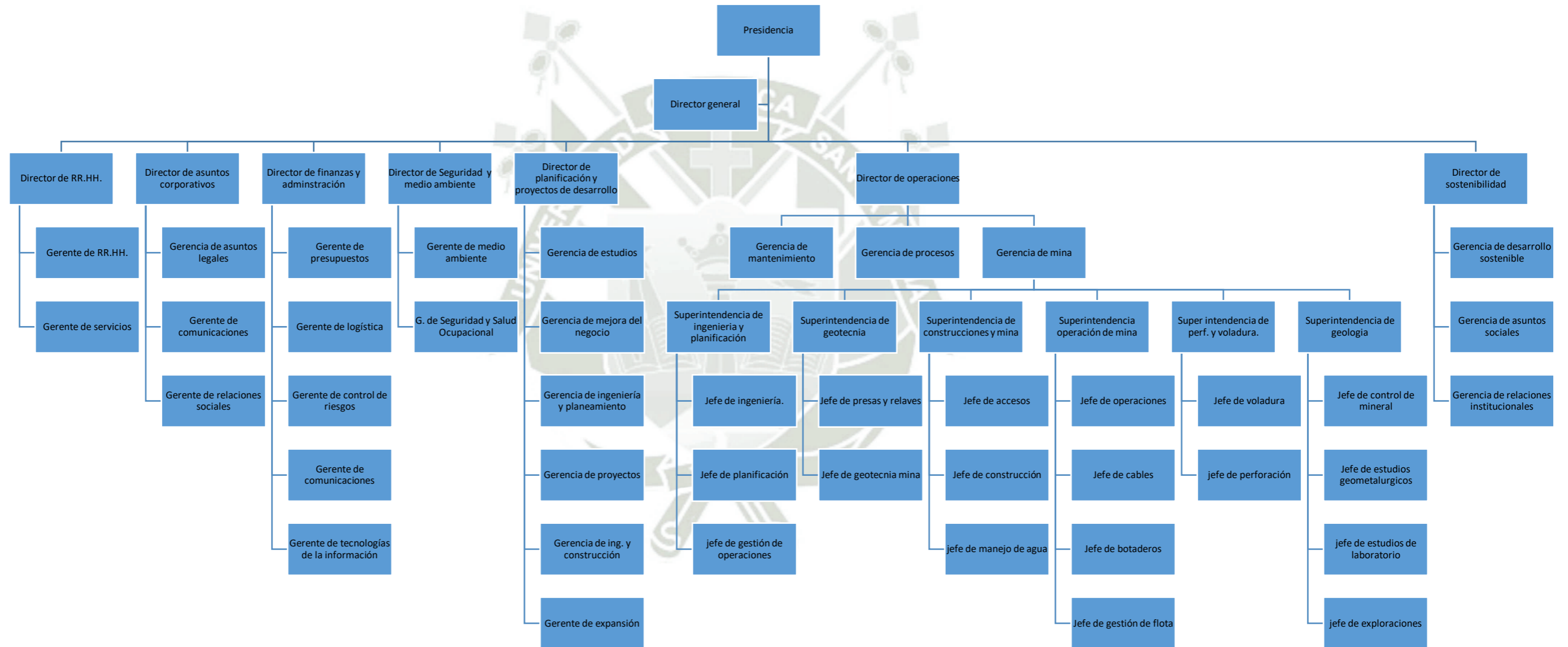
3.3. Estructura Organizacional

La empresa minera cuenta con 7 directores, que tienen a su cargo la dirección de Recursos Humanos, Asuntos Corporativos, Administración y Finanzas, Seguridad y Medio Ambiente, Planificación y Proyectos de Desarrollo, Operaciones y la dirección de Sostenibilidad. Dentro de la Dirección de operaciones se encuentran 3 Gerencias que son la Gerencia de Mina, Gerencia de Procesos y Gerencia de Mantenimiento que son áreas dedicadas a la producción. El presente proyecto se lleva a cabo en la Gerencia de Mina, trabajando junto con las Superintendencia de ingeniería y planificación, quienes se encargan de la planificación del proceso de Voladura, la Superintendencia de Operaciones Mina, quienes son los encargados del despeje del área para la voladura y la Superintendencia de Perforación y Voladura, quienes se encargan de realizar el proceso de Perforación y la Voladura.

3.3.1. Organigrama de la Gerencia de Mina

Figura 3

Organigrama de la Mina del Sur del Perú.



Nota. Elaboración propia

3.4. Mapa de Procesos de la Empresa

3.4.1 Procesos estratégicos

Se contemplan los siguientes procesos estratégicos:

- a. Gestión de sistema integrado: Implica la implementación de un sistema que abarque aspectos estratégicos, tácticos y operacionales de la mina. Este sistema permitirá una gestión más eficiente de los recursos, procesos y actividades de la empresa minera. Es importante asegurarse de que el sistema esté alineado con los objetivos y metas de la organización, y que se establezcan indicadores clave de desempeño para monitorear y evaluar el progreso.
- b. Planeamiento estratégico: Consiste en desarrollar un plan que permita aprovechar de manera óptima el depósito de minerales, considerando las complejidades técnicas y operativas, así como las restricciones existentes. Este plan debe incluir un programa de producción y procesamiento del mineral, así como proyecciones financieras para todo el ciclo de vida de la mina. Es fundamental tener en cuenta la volatilidad de los precios de los productos minerales en el mercado internacional al realizar el planeamiento financiero, y considerar mecanismos que permitan adaptarse a estas fluctuaciones.
- c. Imagen y relaciones comunitarias: se refieren a la construcción de una buena reputación y a establecer relaciones positivas con las comunidades locales. Esto implica mantener una comunicación abierta y transparente, así como implementar programas de responsabilidad social y ambiental que generen beneficios tangibles para la comunidad. Es importante construir relaciones de confianza y promover el diálogo con las partes interesadas, buscando el desarrollo sostenible y el bienestar de la comunidad en general.

- d. Gestión de excelencia operacional: Implica buscar la mejora continua de los procesos, la eficiencia en las operaciones y la capacidad de adaptación a los cambios del entorno. Se busca optimizar la eficiencia y la productividad de la mina.

3.4.2. Procesos operacionales

Se contemplan los siguientes procesos para obtener el producto final:

- 1) Obtención de mineral: En este apartado, se contempla:
 - a. Exploraciones: Los geólogos utilizan métodos como la teledetección, la perforación y el muestreo para encontrar recursos minerales mientras estudian las formaciones geológicas.
 - b. Control de mineral: Una vez localizado el depósito de mineral, se procede a la planificación de la mina.
- 2) Extracción: En este apartado, se contempla:
 - a. Perforación: Se perfora el terreno para colocar explosivos y fragmentar el suelo para el carguío.
 - b. Voladura: Los agujeros son llenados con material explosivo, que al detonar fragmenta la roca y remueve el material.
 - c. Carguío: Se carga el material tronado y se transporta a la pila de lixiviación.
 - d. Acarreo: El material mineralizado es transportado desde el yacimiento hacia los destinos deseados.
- 3) Procesos: En este apartado, se contempla:
 - a. Chancado: En este proceso se tiene como finalidad la reducción del tamaño de las rocas.
 - b. Molienda: Reducción adicional del tamaño del material, se pulveriza el mineral en partículas más pequeñas utilizando molinos.

- c. Flotación: Proceso para la separación de minerales. Se separan los minerales valiosos de los no valiosos mediante procesos químicos y físicos.
- 4) Transporte: En este apartado, se contempla:
 - a. Transporte de mineral a puerto: El material mineralizado es transportado al puerto para su posterior procesamiento.

3.4.3 Procesos de soporte

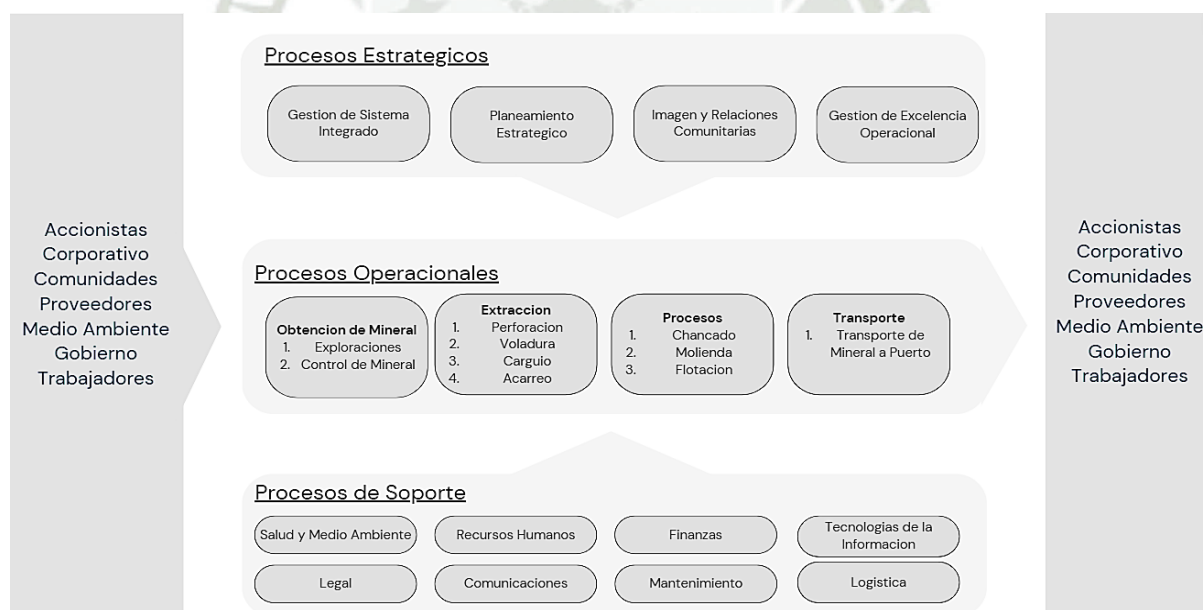
Se contemplan los siguientes procesos de soporte:

- 1) Salud y medio ambiente: Se realiza la gestión de la salud y seguridad de los trabajadores, así como en la implementación de prácticas ambientales sostenibles. Esto implica la adopción de tecnologías y procesos que minimicen el impacto ambiental y promuevan un entorno laboral seguro.
- 2) Recursos humanos: Desarrollar estrategias para reclutar, capacitar y retener al talento humano necesario para las operaciones mineras. Esto incluye la implementación de programas de desarrollo profesional, gestión del desempeño y compensación competitiva.
- 3) Finanzas: Gestionar eficientemente los recursos financieros, incluyendo la planificación presupuestaria, la evaluación de inversiones en tecnología y equipos, así como el análisis de costos y rentabilidad de las operaciones mineras.
- 4) Tecnologías de la información: Tiene como finalidad implementar sistemas y herramientas tecnológicas que mejoren la eficiencia operativa, la gestión de datos, la seguridad cibernética y la comunicación interna y externa.
- 5) Legal: Cumplir con las regulaciones y normativas legales relacionadas con la industria minera, incluyendo aspectos laborales, ambientales, de seguridad y de propiedad de tierras.

- 6) Comunicaciones: Establecer estrategias de comunicación efectivas tanto internas como externas, para mantener informados a los empleados, socios comerciales, comunidades locales y otras partes interesadas.
- 7) Mantenimiento: Desarrollar planes de mantenimiento preventivo y predictivo para garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y maquinaria utilizados en las operaciones mineras.
- 8) Logística: Optimizar la gestión de la cadena de suministro, el transporte de materiales, la distribución de productos y la gestión de inventarios para garantizar la eficiencia en las operaciones mineras.

Figura 4

Mapa de Procesos



Nota. Elaboración propia

3.5. Proceso de Extracción de Mineral

El proceso productivo del cobre inicia con exploraciones de posibles yacimientos con alto potencial mineral realizado por geólogos especializados en dicha área, pasa por un periodo de evaluación para años después ser explotado, siempre y cuando exista factibilidad.

Después, continúa la segunda gran etapa en el proceso productivo que es la extracción, cuyo objetivo es sacar el mineral del macizo rocoso a cargo del área de Mina, donde se ejecutan las actividades de perforación, voladura, carguío y acarreo, para posteriormente llevar el mineral a planta, donde los camiones en el proceso de acarreo depositan el mineral en la chancadora, cuyo objetivo es la conminución del mineral, a través de fajas transportadoras el mineral es llevado a molienda, para continuar con la reducción del mineral hasta 200 micras de tamaño, luego es enviado al área de flotación donde mediante procesos químicos y físicos se logra liberar el mineral valioso o mena, formando el concentrado de cobre, a través de tuberías se transporta a los espesadores donde se sedimenta el concentrado, el cual es llevado al área de filtros de prensa para reducir la cantidad de agua mediante la inducción de presión de aire, dando como resultado final el concentrado de cobre con un rango entre 8% y 10% de humedad. El cual es almacenado en stocks de concentrado de cobre con una ley entre 30% y 32% de cobre fino, para ser enviado posteriormente hacia el puerto de Matarani en Arequipa por vía terrestre.

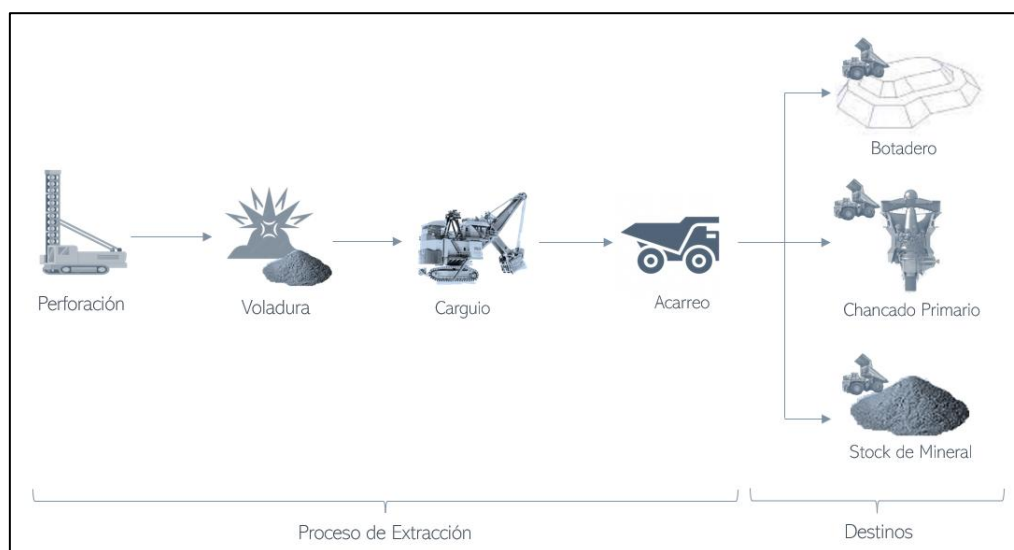
Figura 5

Procesos Productivo de la Empresa



Nota. Elaboración propia

La voladura, objeto de estudio de investigación, se encuentra dentro del proceso de extracción realizado en el área de Mina.

Figura 6*Proceso de Extracción de la minería*

Nota. Elaboración propia

3.5.1. Perforación

Es la actividad donde las perforadoras de minería superficial rotativas realizan diversas perforaciones o agujeros aproximadamente de 17 metros de profundidad, siguiendo una secuencia según el plano de perforación, que es previamente diseñada por el área de planeamiento y topografía. Seguidamente se realiza una inspección a cada taladro, nombre que recibe el agujero perforado. Y el conjunto de estas perforaciones continuas se llama “malla de perforación”.

3.5.2. Voladura

El principal objetivo es fragmentar la roca y el mineral. En esta actividad se debe de tener especial cuidado en la seguridad ya que se manipula explosivos. En este proceso cada taladro es cargado con explosivos compuestos por Anfo que es la combinación de perlas de nitrato de amonio con petróleo, seguidamente cada taladro es tapado y se realiza el amarre que es la acción de interconectar todos los taladros siguiendo una secuencia y tiempos preestablecidos, se verifica que las conexiones estén correctas y se procede a realizar el

protocolo de voladura que involucra el despeje total del área, los equipos deben de estar ubicados a 150 metros y las personas fuera de los 500 metros de radio de influencia del proyecto, cuando se cumpla todos los protocolos de seguridad se procede a realizar el disparo de voladura. (CODELCO, 2018)

3.5.3. Carguío y Acarreo

Después del proceso de voladura, se habilitan los accesos para que entren los equipos a operar, las palas mineras cargan todo el material fragmentado por la voladura en camiones mineros, para transportarlos a su destino a través del proceso de acarreo, este destino puede ser hacia la chancadora, botaderos o stocks que son reserva de mineral según planificación (CODELCO, 2018).

3.6. Proceso actual de voladura

El proceso de voladura se programa por el área de planeamiento de acuerdo con la necesidad operativa de tener mineral fragmentado, para que una pala minera realice el respectivo minado y posteriormente se transporte a través a los camiones al destino correspondiente que puede ser la chancadora en el área de procesos, botaderos y stock de mineral. Para realizar la voladura, se tienen que cumplir ciertos parámetros de seguridad entre ellos despejar radio de influencia del disparo de voladura, el cual ya está establecido que los equipos deben de dejarse 500 metros fuera del radio de influencia y las personas 150 metros fuera de dicho radio, por tal motivo las operaciones dentro del tajo quedan paralizadas.

La frecuencia aproximada es 5 veces por semana, en el horario de las 6:30 am haciendo coincidir el proceso con el cambio de guardia, donde los equipos móviles y operarios del turno salen del área para tener el respectivo relevo con el siguiente turno.

A continuación, se contemplan las actividades que se realizan en el proceso de voladura:

- 1) Preparación de equipos de carguío: En esta etapa, se preparan los equipos necesarios para la carga de explosivos en los taladros. Esto incluye la inspección de los equipos para verificar su correcto funcionamiento, la limpieza para eliminar cualquier residuo de explosivos anteriores y la calibración para asegurar la correcta configuración para la carga de explosivos, para seguidamente transportar los explosivos de manera segura hacia el área de voladura.
- 2) Transporte a las áreas de voladura: Se accede a las áreas designadas para la voladura, siguiendo los protocolos de seguridad establecidos. Implica la verificación de las credenciales de seguridad y la adhesión a las rutas de acceso designadas. El acceso a las áreas de voladura está estrictamente controlado para minimizar el riesgo de accidentes.
- 3) Demarcación del área: En esta etapa, se delimita el área de voladura para evitar el acceso de personas no autorizadas. Esto puede implicar el uso de barreras físicas, señales de advertencia y personal de seguridad. La demarcación es un paso crítico para asegurar que sólo el personal autorizado tenga acceso al área de voladura.
- 4) Distribución de elementos de apoyo y accesorios: En esta etapa, se distribuyen los elementos necesarios, como primas (booster y detonadores), para preparar el primado de los taladros. Esto implica la colocación cuidadosa de estos elementos en los lugares correctos para asegurar una voladura efectiva.
- 5) Primado de Taladros: Se coloca la prima en los taladros para iniciar la detonación de la carga explosiva. El primado es un paso crítico que implica la inserción de un detonador en la carga explosiva. Este detonador es lo que inicia la explosión cuando se le da la orden para hacerlo.

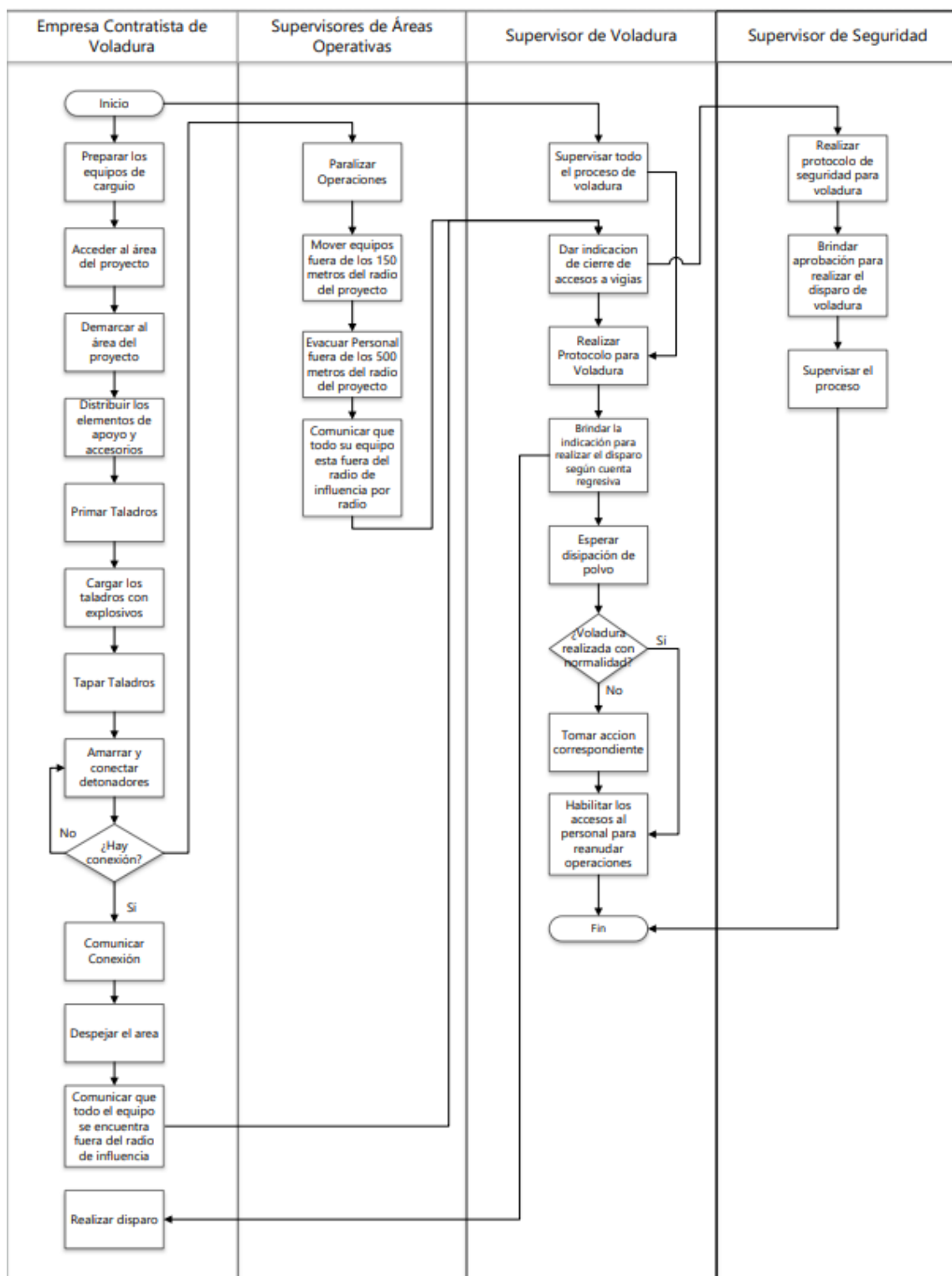
- 6) Carguío de explosivos con camión fábrica: Los explosivos son cargados en los taladros utilizando camiones fábrica. Estos camiones están equipados con equipos especializados que permiten la carga segura y eficiente de los explosivos en los taladros.
- 7) Tapado de taladros o pozos: Después de cargar los explosivos, se realiza el tapado de los taladros. El tapado implica la colocación de un material, como detritus o grava, en el taladro sobre la carga explosiva. Esto ayuda a contener la explosión y dirige la fuerza de la explosión hacia abajo y hacia los lados, lo que ayuda a fragmentar la roca de manera más efectiva.
- 8) Amarre y conexión del disparo: En esta etapa, se realiza el amarre y la conexión de los detonadores para preparar el disparo. Esto implica la conexión de los detonadores a un sistema de disparo, que es operado a distancia para detonar los explosivos de manera segura.
- 9) Despeje de área: Las diferentes áreas que realizan trabajos dentro del radio de influencia deben de despejar el área, primeramente, dejando los equipos fuera a los 150 metros y a las personas fuera de los 500 metros del radio de influencia.
- 10) Realizar Protocolo de Voladura: Antes de la voladura, se debe asegurar que todas las personas y equipos estén fuera del radio de voladura. Los vigías deben estar cerrando el paso en cada acceso al área. El área de seguridad realiza la inspección para asegurarse de que no haya ninguna persona en el área y se realiza el protocolo de seguridad.
- 11) Programar y realizar disparo: Después de finalizar el protocolo de voladura, el Supervisor de Voladura solicita iniciar la programación del disparo, concluida dicha programación, se da la orden de realizar el disparo, es decir la detonación controlada de los explosivos. Este es el paso final en el proceso de voladura, y es cuando la roca es finalmente fragmentada para su posterior extracción y procesamiento.

- 12) Verificación de seguridad: El equipo de seguridad revisa que no exista anomalías en el proceso y que el área sea segura para el ingreso.
- 13) Apertura de accesos: Después que esperar que el polvo producto de la explosión se haya disipado y que el área este seguro, se brinda la indicación para que el personal pueda ingresar a operar en el lugar correspondiente.
- 14) Reinicio de Actividades: Después del ingreso en el área se retoman las actividades de operaciones.



Figura 7

Flujograma del Proceso de Voladura



Nota. Elaboración propia

Analizando el Diagrama de Análisis del Proceso actual (DAP) se identifica que existen 11 actividades de operación, una actividad de transporte, una actividad de demora y una de inspección. La actividad de demora esta referida al tiempo que se espera que el área este completamente despejada para realizar la voladura el cual es de 21 minutos, la cual está relacionada con el problema indicado en la presente tesis, esta espera es considerada como un desperdicio en el proceso.



Figura 8

Diagrama de Análisis del Proceso Actual de Voladura

Diagrama de Analisis del Proceso Actual (DAP)							
Proceso: Voladura	Resumen						
	Actividad	Actual	Propuesto	Variacion			
	Operación	11	11	0			
	Transporte	1	1	0			
	Demora	1	0	-1			
	Inspeccion	1	1	0			
	Almacenamiento	0	0	0			
	Distancia	2950	2950	0			
Tiempo	474	453	21				
#	Descripción de Actividad	Símbolo	Tiempo (en Min)	Distancia (en Mts)	Observaciones		
1	Preparar equipos de carguio para la carga de explosivos en campo	○ → D □ ▽	67	-	-		
2	Transportar equipos al area	○ → D □ ▽	44	2950	-		
3	Demarcar area solo para que el personal critico tenga acceso	○ → D □ ▽	12	-	-		
4	Distribuir elementos de apoyo y accesorios	○ → D □ ▽	18	-	-		
5	Primar taladros con detonador en la carga explosiva	○ → D □ ▽	37	-	-		
6	Cargar de explosivos en los taladros	○ → D □ ▽	109	-	-		
7	Tapar los taladros cargados con detritus o grava	○ → D □ ▽	48	-	-		
8	Amarrar y conectar detonadores a un sistema de disparo	○ → D □ ▽	44	-	-		
9	Realizar Despeje de area por parte de operaciones	○ → D □ ▽	27	-	-		
10	Esperar que el area este completamente despejada	○ → D □ ▽	21	-	-		
11	Realizar protocolo de voladura	○ → D □ ▽	15	-	-		
12	Programar y realizar el disparo, según orden del supervisor	○ → D □ ▽	15	-	-		
13	Verificar que el proceso se realizo sin anomalias y el area es segura	○ → D □ ▽	15	-	-		
14	Aperturar accesos, para que el personal evacuado ingrese a reiniciar actividades	○ → D □ ▽	2	-	-		

Nota. Elaboración propia

3.7 Maquinaria y Equipos

Considerando el problema contemplado en esta investigación, a continuación, se muestran los principales equipos involucrados en el proceso de despeje de área, los cuales son esenciales para la producción de mineral.

- a) **Palas:** Las palas son equipos pesados con tren de rodaje de orugas que se usan en minería a cielo abierto, que tienen diversas aplicaciones, principalmente realizar la actividad de minado, para el carguío de rocas en camiones mineros. También, se utiliza para excavar y extraer minerales y escombros. El equipo trabaja conectado a una fuente de energía como una *switch house* o subestación a través de cables. Además, tiene una altura de casi 21 metros aproximadamente, tienen una capacidad de aproximadamente 100 toneladas de mineral en el cucharón y una velocidad aproximada de 1 km/hr. Para la movilización de la pala se necesita el apoyo del equipo auxiliar que ayude con las conexiones de los cables.
- Las palas mineras es el principal equipo que causa demoras en el despeje de área debido a su gran tamaño y poca facilidad en su traslado y en algunos casos la pala ya está fuera del radio de voladura, pero al no tener una referencia el equipo sigue moviéndose causando desperdicio con movimiento innecesarios. En la unidad minería se cuentan con 7 palas.

Figura 9*Pala Eléctrica*

Nota. Fotografía obtenida de la Empresa.

- b) **Camiones de Acarreo:** Los grandes camiones mineros son esenciales para el transporte de materiales en la mina, incluyendo el transporte de materiales minados a diferentes áreas de la mina como a la chancadora, botaderos y stocks de mineral. En su tolva tienen una capacidad de 360 toneladas métricas y una velocidad aproximada de 15 km/ht. En el proceso de Voladura, los camiones conducidos por su operador realizan el cambio de guardia fuera del área.

Figura 10*Camión de Acarreo*

Nota. Fotografía obtenida de la Empresa.

- c) **Perforadoras:** Existen diferentes tipos de perforadoras utilizadas en la minería, entre ellas tenemos las perforadoras rotativas, que crean agujeros en la roca o el suelo para colocar cargas de voladura en minas abiertas. Estas perforadoras que son equipo pesado, son esenciales para la creación de agujeros para cargas de voladura en la minería de superficie. Pueden crear taladros de hasta 18 metros de profundidad y un diámetro de 12 ¼ pulgadas y una velocidad de 1 km/hr. En el proceso de voladura, como todos los equipos, las perforadoras deben de ser dejadas fuera del radio de influencia de voladura, donde se tiene que bajar el castillo para el movimiento.

Figura 11

Perforadora Rotativa



Nota. Fotografía obtenida de la Empresa.

- d) Equipos Auxiliares:** El equipo auxiliar en la minería es esencial para la preparación del terreno, construcción de vías, movimientos de cables y de recursos, así como otras tareas complementarias necesarias para el despeje de área en el proceso de la voladura. Para el proceso de voladura, los principales equipos auxiliares necesarios en dicho proceso para el despeje y reinicio de operaciones es el manipulador de cables eléctricos, el cual es fundamental en el movimiento de las palas y perforadoras y los tractores topadores de ruedas, los cuales ayudan en la limpieza de vías permitiendo el paso seguro de equipos.

Figura 12

Tractor Topador de Ruedas



Nota. Fotografía obtenida de la Empresa.

Figura 13

Manipulador de Cables Eléctricos



Nota. Fotografía obtenida de la Empresa.

- e) **Switch House:** Estas instalaciones son necesarias para garantizar un suministro eléctrico seguro y fiable para los sistemas eléctricos, la maquinaria y los equipos de la mina.

Figura 14

Switch House



Nota. Fotografía obtenida de la Empresa.

- f) **Subestación eléctrica:** Instalación para la distribución, recepción y control de la energía eléctrica de la explotación minera. Su función principal es convertir la energía eléctrica de alta tensión de la red eléctrica externa a tensiones más adecuadas para la mina.

Figura 15

Subestación Eléctrica



Nota. Fotografía obtenida de la Empresa.

Estos equipos desempeñan un papel crucial en el proceso de voladura en la minería, facilitando la preparación del terreno, la creación de agujeros para cargas de voladura y el transporte de materiales para la operación de voladura.

3.8. Indicadores del proceso de voladura

Dentro del proceso de voladura existen diversos tipos de indicadores operativos del proceso, dentro de ellos, se mencionan en el presente trabajo los que están directamente relacionado con el problema indicado en la presente investigación.

Tabla 3

Indicadores en voladura

Indicador	Fórmula	Descripción	Beneficios
Cumplimiento Hora de Disparo	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de voladuras ejecutadas a tiempo}}{\text{N}^\circ \text{ de voladuras ejecutadas}}$	Es un indicador importante ya que permite evidenciar cuantas voladuras se ejecutaron en el tiempo planeado es decir a las 6:30 am	Permite identificar áreas de mejora en términos de eficiencia de despeje de área y cumplimiento de la hora planificada del disparo de voladura.

Nota. Elaboración propia.

3.9. Resultados del proceso de voladura actual

Para dar respuesta al presente apartado, se consideraron los datos de la empresa minera, obtenidos de los sistemas *Fleet Management System (FMS)* administrado por el área de Dispatch de Operaciones Mina, así como también la data proporcionada por el área de la Superintendencia de Perforación y Voladura, correspondiente a las horas en las cuales se realizó cada disparo. Se considera la data desde marzo del 2023 hasta febrero del 2024,

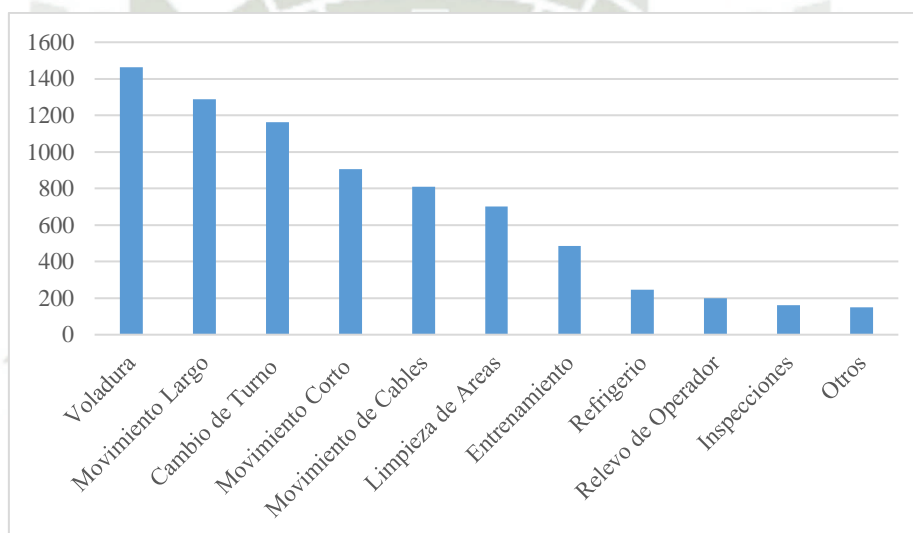
excluyendo el mes de enero y febrero del 2023 por el contexto político que estaban atravesando el país en ese tiempo, lo cual impacto considerablemente en el proceso de voladura.

3.9.1 Causas de Paralización de Equipos

Según data de la empresa la principal causa de parada de equipos es la voladura con una sumatoria de horas de parada de equipos aproximada de 1400 horas, seguida de traslados largos de las palas y paradas por cambios de turno, como se puede observar en la figura 16.

Figura 16

Eventos de Parada de las Palas por Voladura



Nota. Elaboración propia.

3.9.1.1. Tiempo de Parada de Palas por Voladura.

Tiempo de Parada de Palas por Voladura (TP), la cual contempla las 7 palas actuales que tiene la operación, las cuales han parado por motivo de voladura según las bases de datos de la empresa minera del sur del Perú. Se realizó un diagnóstico considerando desde marzo del 2023 a febrero del 2024, considerado como línea base.

Tabla 4

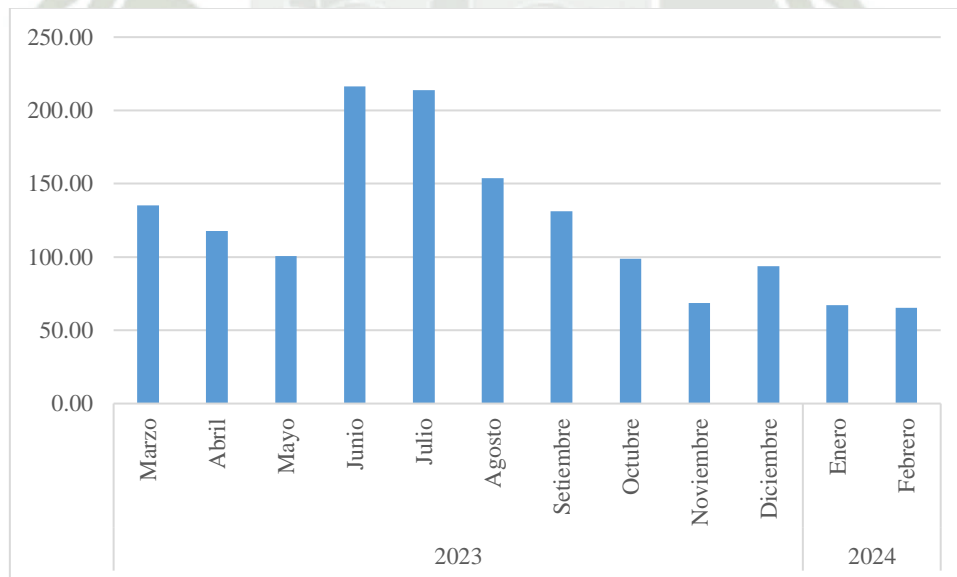
Tiempo Total de Paradas de Palas por Voladura

Año	Mes	Total Horas	
2023	Marzo	135.28	
	Abril	117.56	
	Mayo	100.74	
	Junio	216.40	
	Julio	213.84	
	Agosto	153.87	
	Setiembre	131.22	
	Octubre	98.72	
	Noviembre	68.47	
	Diciembre	93.70	
	2024	Enero	67.26
		Febrero	65.31
Total		1462.37	

Nota. Elaboración propia.

Figura 17

Total de Horas de Parada de las Palas por Voladura por Mes



Nota. Elaboración propia.

Según la figura en los primeros meses del año 2023 se muestra una tendencia parecida, los meses de junio y julio superaron las 200 horas de parada de equipos por voladura, seguidamente descendiendo en los últimos meses del año y se mantiene a inicios del 2024.

Tabla 5

Horas Totales de Parada por Pala

Año	Mes	Total Pala 1	Total Pala 2	Total Pala 3	Total Pala 4	Total Pala 5	Total Pala 6	Total Pala 7	
2023	Marzo	25.9738	4.8919	22.3729	16.6924	23.3062	22.3217	19.7236	
	Abril	26.1768	0.8942	20.6864	20.1295	13.4069	18.1191	18.1499	
	Mayo	18.1227	0.0000	23.3448	19.2544	13.9459	12.7106	13.3649	
	Junio	45.0313	5.5676	42.7881	50.5235	23.5991	21.8778	27.0104	
	Julio	23.8251	15.4567	43.8986	35.9589	27.5059	36.1806	31.0162	
	Agosto	24.5093	7.3917	37.6755	22.6145	13.3681	24.2678	24.0386	
	Setiembre	18.1851	4.1726	25.1283	0.0000	22.2390	30.5669	30.9267	
	Octubre	18.0974	7.3390	16.3886	0.0000	18.1161	18.3146	20.4620	
	Noviembre	5.0153	3.4542	12.3334	0.0000	16.3296	15.5032	15.8364	
	Diciembre	7.0317	5.5492	16.9265	7.0221	15.6779	20.5619	20.9319	
	2024	Enero	1.8579	0.0000	12.0846	4.1576	17.1739	16.7500	15.2351
		Febrero	0.6353	13.0822	13.5020	1.9149	2.4467	16.9344	16.7956
Total general		214.4614	67.7992	287.1296	178.2678	207.1152	254.1085	253.4914	

Nota. Elaboración propia.

Según los datos, el tiempo de parada promedio de por pala es de 0.6653 horas en el periodo considerado como línea, en la tabla 6 se puede ver el detalle del promedio por mes y el promedio total.

Tabla 6

Promedio de Paradas de Palas por Mes

Año	Mes	Promedio
2023	Marzo	1.1211
	Abril	1.1701
	Mayo	1.1118
	Junio	1.6394
	Julio	1.3604
	Agosto	1.4251
	Setiembre	1.1488
	Octubre	0.8842
	Noviembre	0.6233

	Diciembre	0.7847
	Enero	0.6613
2024	Febrero	0.7981
	Total	
	Promedio	1.0595

Nota. Elaboración propia.

Se determina que, el tiempo de paradas por palas por voladura, tiene una gran oportunidad de mejora, ya que casi el total de las palas presenta paradas significativas en los meses considerados como línea base de 1.06 horas.

3.9.1.2. Tiempo de Demora de Disparo.

En el siguiente apartado, se analizará el tiempo de demora del disparo de voladura, el cual es la continuación del despeje de área y del protocolo de voladura, considerado uno de los principales indicadores del proceso de voladura.

Tabla 7

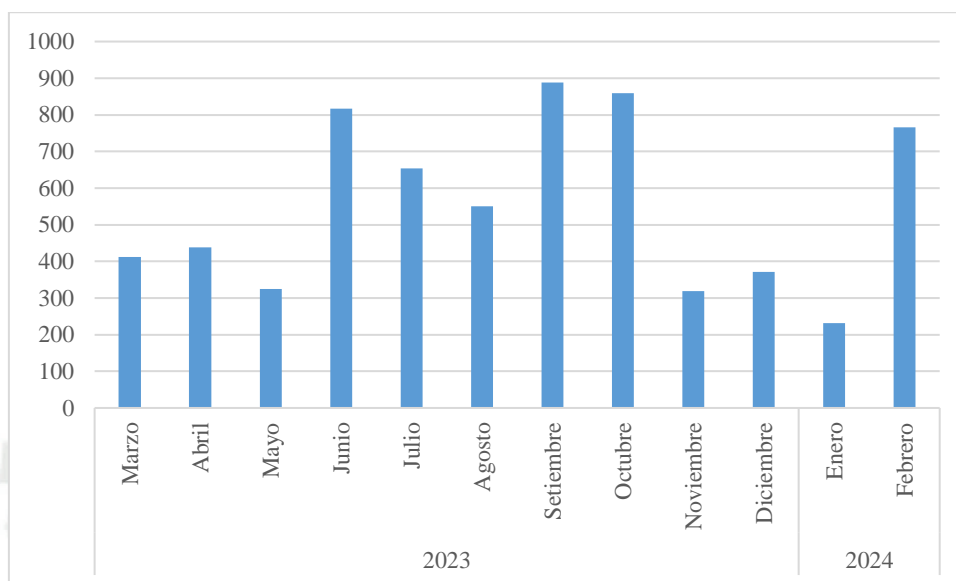
Tiempo de Retraso de Disparo por Mes

Año	Mes	Minutos
2023	Marzo	412.37
	Abril	437.93
	Mayo	324.13
	Junio	817.52
	Julio	654.00
	Agosto	551.00
	Setiembre	888.52
	Octubre	859.10
	Noviembre	318.98
	Diciembre	371.48
2024	Enero	231.37
	Febrero	766.52
Total general		6632.92

Nota. Elaboración propia.

Figura 18

Horas Totales de Retraso de Disparo por Voladura



Nota. Elaboración propia.

Se observa que los meses de junio, setiembre y octubre del 2024, se evidenciaron más demoras en la hora de disparo para la detonación de la voladura, en el caso del 2025 se observa que en febrero tuvo un incremento considerable comparado con los meses previos.

Tabla 8

Promedio de Demoras de Disparo por Mes

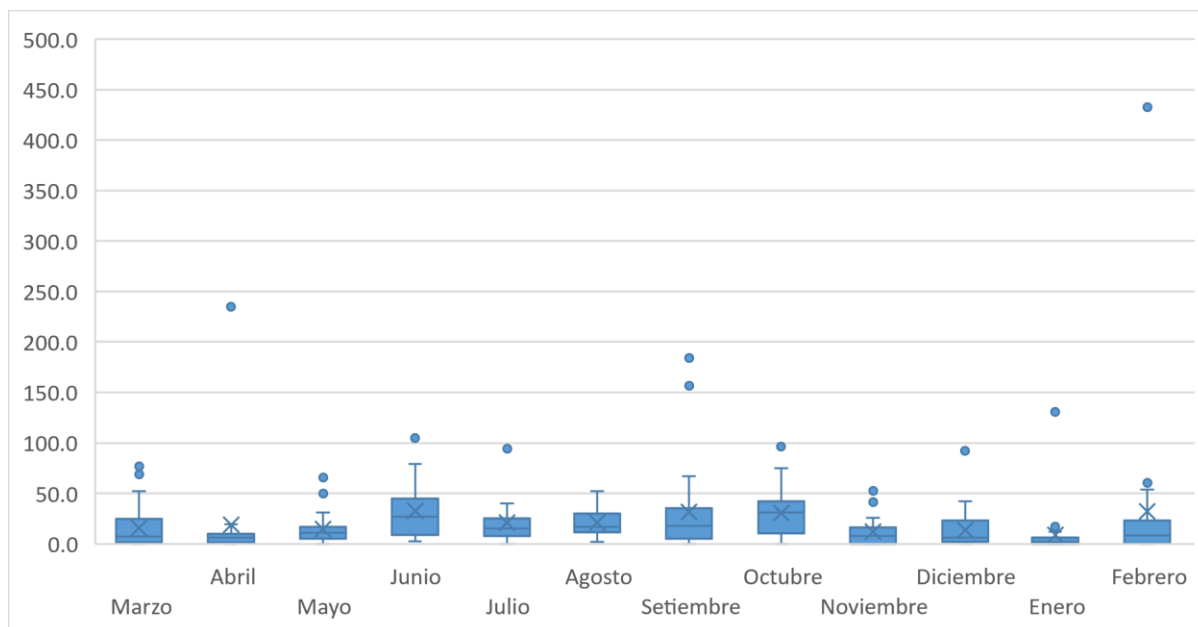
Año	Mes	Promedio Demora (Min)
2023	Marzo	15.86
	Abril	19.04
	Mayo	14.73
	Junio	32.70
	Julio	21.10
	Agosto	21.19
	Setiembre	31.73
	Octubre	30.68
	Noviembre	11.81
	Diciembre	13.76
2024	Enero	8.57
	Febrero	31.94
Total		21.09

Nota. Elaboración propia.

El tiempo de demora respecto al disparo del proceso de la voladura, según su la distribución central de los datos es de 21.09 minutos.

Figura 19

Minutos de Retraso de Disparo de Voladura



Nota. Elaboración propia.

Analizando la figura 19, se observa que hay variabilidad en los datos, los meses de abril, junio, setiembre del 2024 y febrero del 2025 se encuentran los valores más atípicos respecto a los minutos de demora en la ejecución del disparo de la voladura.

Se determina que, de acuerdo con lo registrado en el periodo considerado como línea base se tiene oportunidades de mejora en el cumplimiento de la hora de disparo, cabe resaltar que los resultados mostrados en este apartado, no tienen que ser directamente proporcionales con el tiempo de parada de equipos, ya que el número de palas afectadas por la voladura es constantemente variable y solo afecta a los equipos dentro del radio de influencia.

3.10 Análisis de Resolución de Problemas

Según Shingeo Shingo, para implementar la mejora continua en los procesos es de vital importancia incluir la resolución de problemas y la eliminación de desperdicios. Para lo cual es necesario el análisis de causa raíz para resolver el problema de forma efectiva.

Para dicho análisis se realizó el taller de resolución de problemas para el proceso de voladura, ha sido liderado por el superintendente de operaciones de mina con el soporte de la autora del presente trabajo de investigación. En este espacio colaborativo, se han reunido todos los involucrados en el proceso de voladura, así como aquellos que participan en el despeje de área necesario para llevar a cabo estas actividades. Durante el taller, se ha realizado un análisis exhaustivo de la situación actual del proceso de voladura, donde se han identificado diversas áreas de mejora. Este análisis ha permitido a los participantes discutir y proponer soluciones efectivas, fomentando un ambiente de trabajo en equipo y comunicación abierta entre todos los actores involucrados. La colaboración ha sido clave para abordar las problemáticas y establecer un plan de acción para disminuir el tiempo de parada de equipos y por ende aumentar la producción.

a) Involucrados

- Superintendente de Operaciones Mina
- Superintendente de Perforación y Voladura
- Jefe de Operaciones
- Jefe de Voladura
- Jefe de Cables
- Jefe de Gestión de Flota
- Jefe de Gestión de Operaciones
- Jefe de Planificación

Figura 20

Taller Resolución de Problemas 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 21

Taller Resolución de Problemas 2



Nota. Elaboración propia.

3.10.1 Análisis Causa Raíz

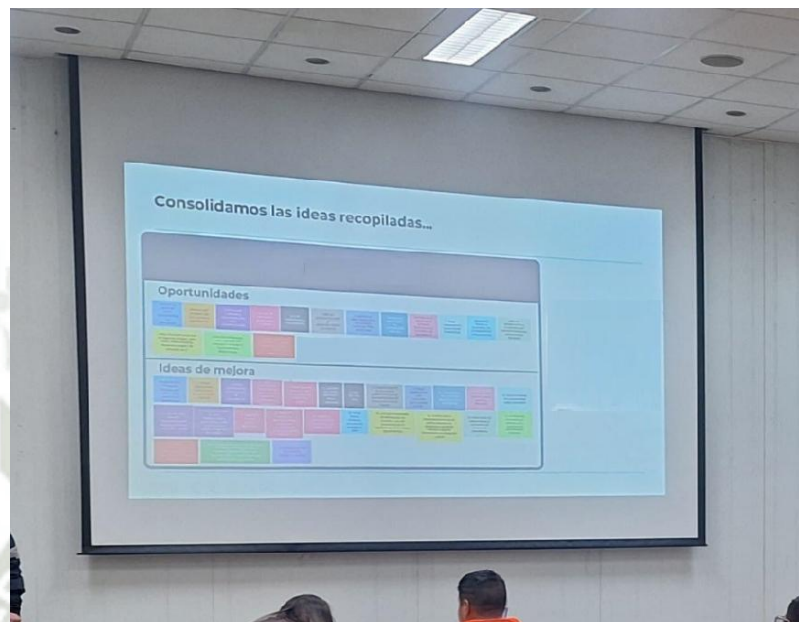
Para la identificación de las principales causas del problema se convocaron al taller a todos los líderes involucrados en el proceso de voladura, para determinar las causas que generan el problema ya mencionado. Se inició la sesión con de lluvia de ideas con los involucrados en el

proceso de voladura, de dicho taller las causas que más se repitieron y se agruparon son las siguientes:

1. Falta de Coordinación
2. Poca Comunicación entre Áreas
3. Falta de Reportes
4. Falta de Data Histórica
5. Planos no Detallados
6. Inoperatividad de cables
7. Movimientos Innecesarios
8. Inoperatividad de equipos
9. Falta de Disponibilidad de Equipo Auxiliar
10. Falta de Planificación del Despeje de Área
11. Falta de Lineamientos de Despeje de Área
12. Falta de Lineamientos de Reinicio de Operaciones
13. Revisión de Procesos Infrecuente
14. Terreno y accesos irregulares
15. Condiciones Climáticas

Figura 22

Taller Análisis de Causa Raíz



Nota. Elaboración propia.

Además, se determinan las diversas oportunidades de mejora, también se solicitó a los participantes que propongan ideas de mejora según su opinión, estas fueron consideradas en la implementación de la estandarización del despeje de área y reinicio de operaciones post disparo de voladura.

3.10.2 Análisis Causa Efecto

3.10.2.1 Metodología 6 M's.

Se utilizó la metodología de las 6 M'S para realizar el análisis de las diversas causas que están generando los retrasos en las voladuras, así como la parada de equipos en la empresa minera del estudio.

a) M1 Mano de Obra:

La empresa cuenta con una mano de obra calificada, pero específicamente en este proceso no se observa a un líder a cargo de despeje de áreas, se debe definir los

roles específicos para cada involucrado, también se repitió en el taller que la comunicación tiene oportunidades de mejora.

Tabla 9

M1 Mano de Obra

6M	Causa	Efecto	Indicador Afectado
	Falta de coordinación	Equipos auxiliares no disponible por que fueron destinados a otras tareas	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura
Mano de Obra	Poca comunicación entre Áreas	Las áreas desconocen las actividades en paralelo que otras áreas están realizando y mueven equipos que otras áreas necesitan	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura
	Falta de líder de despeje de Áreas	Desorganización en el proceso de despeje de área	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura

Nota. Elaboración propia.

b) M2 Material:

Los planos correspondientes al área de voladura son compartidos con todos los involucrados, pero los planos no están detallados, lo que ocasiona que cada experto en el área calcule los movimientos de los equipos, sin exactitud.

Tabla 10

M2 Material

6M	Causa	Efecto	Indicador Afectado
Material	Planos no detallados	Cálculo de movimientos sin exactitud	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura

Inoperatividad de cables

Retraso en el movimiento de despeje de palas

Cumplimiento
de Hora de
Disparo de
Voladura

Nota. Elaboración propia.

c) M3 Medio:

Las condiciones de terreno del tajo están siempre en constante cambio, así como también se tienen características geológicas adversas propias del terreno. Además, al estar ubicado a más de 4000 m.s.n.m. las condiciones climáticas son adversas la más común es que ocurran tormentas eléctricas lo cual podría afectar retrasar los despejes de área por seguridad.

Tabla 11

M3 Medio

6M	Causa	Efecto	Indicador Afectado
	Terreno variable y accesos irregulares	Movimientos adicionales para llegar a la ubicación final de los equipos	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura
Medio	Condiciones Climáticas	Por seguridad, los trabajadores no deben de estar expuestos a la tormenta lo cual retrasa la hora de disparo	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura

Nota. Elaboración propia.

d) M4 Método:

Al ser un proceso repetitivo que se realiza 5 veces a la semana, actualmente no cuentan con una metodología establecida, no existen lineamientos determinados para llevar a cabo el despeje de área ni existe una planificación de reinicio de operaciones, lo cual hace que los tiempos de inoperatividad de equipos se extiendan.

Tabla 12

M4 Método

6M	Causa	Efecto	Indicador Afectado
	Falta de Planificación del Despeje de Área	Al no existir una planificación, se genera mayores tiempos muertos en el despeje	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura
Método	Falta de Lineamientos de Despeje de Área	El área despejada no se entregue a tiempo	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura
	Falta de Lineamientos de Reinicio de Operaciones	Extender el tiempo de parada de equipos	Tiempo de parada de equipos
	Revisión de Procesos Infrecuente	No determinar las oportunidades de mejora ni establecer planes de acción	Tiempo de parada de equipos

Nota. Elaboración propia.

e) M5 Maquinaria:

El área de mantenimiento es un gran soporte, los mantenimientos preventivos y correctivos son realizados a su debido tiempo y programación, los equipos y cables los cuales son necesarios para el movimiento de equipos grandes quedan inoperativos, lo cual retrasa la hora de voladura ya que el equipo no se puede movilizar y se necesita la rápida intervención del equipo de mantenimiento en el área o el rápido cambio de cable para que el equipo pueda despejar el área. Además, se tiene varios movimientos innecesarios, los equipos deben de salir del área de influencia de la voladura que son 120 metros, pero al no tener los materiales necesarios la maquinaria se mueve más de lo necesario, lo que causa una demora y pérdida de recursos.

Para el movimiento de equipos pesados, es indispensable el apoyo del equipo auxiliar, que en muchas ocasiones el equipo se encuentra realizando otras tareas que no son de prioridad.

Tabla 13

M5 Maquinaria

6M	Causa	Efecto	Indicador Afectado
	Inoperatividad de cables	Al caer inoperativo un cable se imposibilita el traslado del equipo	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura
Maquinaria	Movimientos Innesarios fuera de los 150 metros	Mayor tiempo de movimiento y perdida de recurso haciendo un movimiento innecesario	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura
	Inoperatividad de equipos	El equipo no puede continuar con el movimiento y por ende no llega a despejar el área	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura

Nota. Elaboración propia.

f) M6 Medición:

Al ser un proceso tan repetitivo no se cuenta con una data histórica, si bien se toma registra la hora exacta de cada disparo de la voladura, pero no se tiene recopilado los eventos u oportunidades de mejora para realizar un análisis de lo sucedido en el proceso.

Tabla 14

M6 Medición

6M	Causa	Efecto	Indicador Afectado
	Falta de reportes	Respuesta tardía ante imprevistos	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura
Medición	Falta de data Histórica	No hay data validada para determinar las causas	Cumplimiento de Hora de Disparo de Voladura

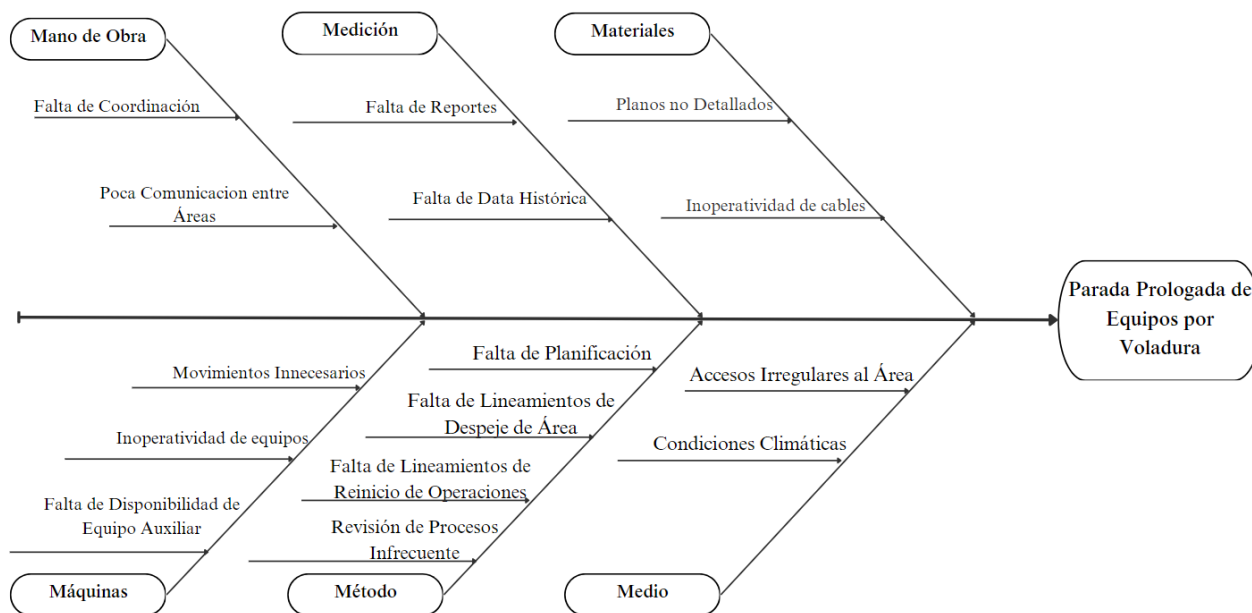
Nota. Elaboración propia.

3.10.2.2 Diagrama de Ishikawa

A continuación, se presenta el diagrama de Ishikawa, en donde se detallan las causas que generan el problema mencionado.

Figura 23

Diagrama de Ishikawa



Nota. Elaboración propia.

Al tener un número grande de causas determinada según los involucrados en el proceso de voladura, se realizó la priorización de éstas a criterio de cada uno de los participantes expertos en el proceso, calificando del 1 al 5 cada causa según la importancia de estas, los resultados son observados en la tabla 15.

3.10.3 Priorización de Causa Raíz

Tabla 15

Matriz de Priorización de Causa Raíz

Nº	Causa Raíz	Superintendente de Operaciones Mina	Superintendente de Perforación y Voladura	Jefe de Operaciones	Jefe de Voladura	Jefe de Cables	Jefe de Gestión de Flota	Jefe de Gestión de Operaciones	Jefe de Planificación	Total
1	Falta de Coordinación	5	5	3	5	4	5	4	4	35
2	Poca comunicación entre Áreas	5	4	4	4	5	4	5	5	36
3	Falta de líder de despeje de área	4	4	3	5	4	3	5	4	32
4	Falta de Reportes	3	3	2	3	3	2	2	3	21
5	Falta de Data Histórica	2	2	1	2	2	2	1	2	14
6	Planos no Detallados	2	2	2	2	3	1	2	1	15
7	Inoperatividad de cables	3	3	2	3	3	3	3	3	23
8	Movimientos Innecesarios	5	4	5	5	4	3	4	4	34
9	Inoperatividad de equipos	2	2	3	2	3	2	3	2	19
10	Falta de Disponibilidad de Equipo Auxiliar	4	3	4	4	4	5	4	4	32
11	Falta de Planificación del Despeje de Área	5	5	4	5	5	4	5	5	38
12	Falta de Lineamientos de Despeje de Área	5	5	5	5	4	4	4	5	37
13	Falta de Lineamientos de Reinicio de Operaciones	5	5	4	4	4	4	5	5	36
14	Revisión de Procesos Infrecuente	3	2	2	3	2	3	2	3	20
15	Accesos Irregulares al Área	2	1	2	1	2	1	2	1	12
16	Condiciones Climáticas	1	1	2	1	1	1	2	1	10

Nota. Elaboración propia.

Según el puntaje calificado por cada jefe del área involucrada, la priorización de mayor a menor:

Tabla 16

Puntuación de las Causas

Causa	Puntuación
Falta de Planificación del Despeje de Área	38
Falta de Lineamientos de Despeje de Área	37
Poca Comunicación entre Áreas	36
Falta de Lineamientos de Reinicio de Operaciones	36
Falta de Coordinación	35
Movimientos Innesarios	34
Falta de líder de despeje de área	32
Falta de Disponibilidad de Equipo Auxiliar	32
Inoperatividad de cables	23
Falta de Reportes	21
Revisión de Procesos Infrecuente	20
Inoperatividad de equipos	19
Planos no Detallados	15
Falta de Data Histórica	14
Accesos Irregulares al Área	12
Condiciones Climáticas	10

Nota. Elaboración propia.

Se tiene varias causas que tienen un puntaje parecido el cual es mayor a 30 puntos, lo cual los indica que estas serían las principales causas del problema a abordar.

3.10.4 Identificación de Oportunidades de Mejora

Según los resultados de la priorización de causas, la mayoría de las causas están directamente relacionadas al despeje de área, cuyas principales causas serían las siguientes:

Con una puntuación mayor a 30 puntos calificado por el equipo involucrado:

1. Falta de Planificación del Despeje de Área
2. Falta de Lineamientos de Despeje de Área
3. Poca Comunicación entre Áreas
4. Falta de Lineamientos de Reinicio de Operaciones
5. Falta de Coordinación

6. Movimientos Innecesarios
7. Falta de líder de despeje de área
8. Falta de Disponibilidad de Equipo Auxiliar

Con una calificación mayor a 20 puntos calificado por el equipo involucrado:

9. Inoperatividad de cables
10. Falta de Reportes
11. Revisión de Procesos Infrecuente

Según la calificación de la priorización se consideran las causas con un puntaje mayor a 30 puntos como prioridad, seguidamente de las 3 causas que tienen más de 20 puntos, las cuales también son consideradas ya que la mayoría de estas están consideradas dentro de la metodología a utilizar en el presente proyecto.

En el presente capítulo se identificó como principal problema el gran tiempo de paralización de equipos por voladura, los cuales son determinantes para la producción, así como que no se cumple la hora programa de disparo de la voladura, afectando el indicador del proceso.

Las principales causas están dentro del despeje de área, ya que hay muchos equipos que no terminan el despeje en el tiempo establecido, retrasando el disparo de voladura.

CAPÍTULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTANDARIZACIÓN

4.1 Definición de Herramientas a Utilizar

Debido a la observación, y el taller para determinar las causas raíces que causan la demora del disparo de la voladura y este a su vez la parada de equipos prolongada, se determina como principal actividad a optimizar el despeje de área, para la cual se plantean la estandarización ya que es una herramienta clave para reducir la variabilidad del proceso, considerando utilizar adicionalmente las herramientas PDCA, Just In Time, Poka Yoke y criterios aplicados al SMED. En la estandarización es necesario el involucramiento de todo el equipo relacionado en el proceso de voladura para la creación de ambientes de trabajo colaborativos donde todos brinden sus aportes.

4.2 Definición del objetivo de la estandarización

Junto con el equipo de líderes involucrados en el proceso de voladura se determinó el siguiente objetivo de la estandarización del proceso de despeje de área de la voladura:

Objetivos del estándar:

- Objetivo 1: Planificar actividades antes, durante y después del proceso de voladura para minimizar el impacto en la producción.
- Objetivo 2: Garantizar un rápido reinicio de operaciones, eliminando desperdicios.

4.3 Cronograma de Implementación

El proyecto se dio por iniciado la primera semana del mes de marzo del año 2024, tomando como línea base la data desde marzo del 2023 a febrero del 2024, primero se inició con un mapeo del proceso, un diagnóstico de la línea base, identificación de problemas, seguidamente se desarrolló el diseño del estándar en conjunto con los involucrados, para pasar a implementarlo, iniciando con las respectivas capacitaciones, realización de pilotos y la

implementación del estándar como tal para finalmente la presente estandarización se vuelva parte del día de día en el proceso de voladura.

Después de culminada la implementación del proyecto, se consideran los resultados sostenibles.



Tabla 17

Cronograma de Implementación

	Mes	Marzo				Abril				Mayo			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Diagnostico	Mapeo del Proceso												
	Determinación de la Línea Base												
	Identificación de Problemas												
	Presentación de Hallazgos												
Desarrollo del Estándar	Talleres de Ideación con Involucrados												
	Definición de Nuevo Modelo												
	Definición de Modelo de Gobernanza												
	Diseño del Procedimiento												
	Presentación del Nuevo Modelo a los involucrados												
	Ajustes Finales según Retroalimentación												
Implementación	Capacitación a los involucrados												
	Implementación del nuevo modelo estandarizado												
	Realización de Pilotos												
	Reuniones de Conciliación de Resultados												
	Reuniones de Lecciones Aprendidas												
	Análisis de Beneficios												

Nota. Elaboración propia.

4.4. Implementación de la Estandarización

En la estandarización del proceso se consideró el ciclo Deming PDCA, para establecer un proceso de mejora continua basado en la planificación, el hacer, el verificar y el actuar; también se utilizó la metodología *Just in Time* para determinar la hora exacta de parada de producción de equipos, el envío del último camión para carguío y para determinar las horas de parada y reinicio de operaciones. Además, también se aplicó la metodología Poka Yoke para eliminar errores respecto a la ubicación final de los equipos, fuera del radio de influencia de voladura y se implementaron criterios aplicados al SMED para el movimiento de equipos contemplados en el despeje de área.

4.4.1 Estandarización de la Hora de Voladura

Para realizar el proceso de voladura es necesario tener despejada el área, con los equipos fuera de los 150 metros del radio de influencia, las personas fuera de los 500 metros del radio de influencia, por lo cual se estandarizo la hora de voladura a las 6:30 am, realizándose seguidamente del cambio de guardia, donde el personal del turno noche abandona las actividades para ser retomadas por el personal del turno de día. Priorizando la seguridad y evitando paralizar operaciones y despejar el área en los turnos. Además, permite facilitar la comunicación con los trabajadores que van a ingresar en el turno de día, indicándoles las actividades a realizar según la planificación de la voladura.

Solo en casos excepcionales como se realiza la voladura fuera de horario establecido. Para la realización del protocolo de voladura se estima una duración de 15 minutos, según la toma de tiempos realizada, por tal motivo el área debe se estar despejada en su totalidad a las 6:15 am, es decir 15 minutos antes de la hora de disparo planificada que es a las 6:30 am.

Cabe resaltar que todas las actividades contempladas en el diseño de estandarización fueron revisadas continuamente y propuestas junto con los involucrados en el proceso de la voladura, fomentando un trabajo colaborativo.

4.4.2. Ciclo de Deming

4.4.2.1. Etapa 1- Planear.

4.4.2.1.1. Creación del Comité de Voladura.

Los principales involucrados en el proceso de la voladura, conforman el comité de voladura la reunión se realizará diariamente con una duración de 15 minutos, donde participaran todos los involucrados al proceso, con el objetivo de tener una comunicación clara y un líder del proceso de despeje de área y reinicio de operaciones.

Tabla 18

Rol de los Participantes en el Proceso de Voladura

Participante	Rol Principal en el Proceso de Voladura
Superintendente de Operaciones Mina	Líder del despeje de área por Operaciones Mina
Superintendente de Perforación y Voladura	Líder del proceso de Perforación y Voladura
Jefe de Operaciones	Responsable de la supervisión de despeje de área de Operaciones Mina
Jefe de Voladura	Responsable de la supervisión de Voladura
Jefe de Cables	Responsable de la supervisión de movimiento de equipos que requieran cables
Jefe de Gestión de Flota	Responsable de la Gestión del proceso de acarreo
Jefe de Gestión de Operaciones	Responsable de Análisis de Data e Indicadores
Jefe de Planificación	Responsable de la Planificación de las Voladuras
Jefe de Alta Tensión	Responsable de las actividades de alta gestión para despeje de área

Nota. Elaboración propia.

4.4.2.1.2. Consideraciones para la Planificación de Despeje de Área.

Para realizar la planificación del despeje de área, para el proceso de voladura, se debe considerar lo siguiente:

a) Ubicación Final de los Equipos

El equipo de Planificación debe de compartir los planos de los proyectos a volar con los radios de influencia, así como las ubicaciones finales de los equipos según los próximos movimientos del plan de minado. La empresa minera cuenta con diversos sistemas de

ubicación de GPS en tiempo real de los equipos y la flota, basado en la prevención para evitar posibles errores según los principios de Poka Yoke, se estandariza el uso de dichos sistemas, cargando la ubicación final de los equipos, considerando la distancia exacta que debe mantener el equipo fuera del radio de influencia, evitando que se realicen movimientos innecesarios, retrabajos y errores que puedan suceder. Además, cuando el equipo no se posiciona en la ubicación indicada, el sistema muestra una alerta colocándose en color rojo, además, que el equipo de Gestión de Flotas hace el seguimiento en tiempo real.

Tabla 19

Comparación Implementación de Sistema GPS para equipos

Antes	Ahora
Determinación de ubicaciones finales de los equipos sin precisión, ocurriendo movimientos innecesarios fuera de los 120 metros	Determinación de la ubicación exacta de los equipos según el sistema GPS

Nota. Elaboración propia.

Figura 24

Implementación de Sistema de GPS de equipos






Nota. Elaboración propia.

b) Despeje de Equipos y Personal

Se debe de determinar que equipos están dentro de los 150 metros, entre los 150 metros - 500 metros y fuera de los 500 metros, esta información es compartida por el área de Planeamiento. Estos se deben de incluir en la semaforización propuesta, según la Tabla N°20. Donde los equipos dentro del color rojo indican que se está trabajando dentro de los 150 metros del radio de influencia, lo cual significa que el equipo debe moverse fuera del radio de influencia. Los equipos considerados dentro de los 150 metros y 500 metros pueden dejarse en sus ubicaciones, pero el personal tiene que evacuar, mientras que los que estén fuera de los 500 metros pueden realizar sus actividades con normalidad.

Tabla 20

Semaforización de los Radios de Influencia

Figura	Radio	Definición
	<150 metros	El equipo debe de moverse fuera de los 150 metros
	150-500 metros	El equipo está fuera del radio de influencia, el personal debe de salir del radio de influencia
	> 500 metros	El equipo y el personal están fuera del radio de influencia

Nota. Elaboración propia.

Respecto a determinación de la hora de fin de producción por voladura y reinicio de operaciones, se debe de considerar la velocidad de cada equipo, la distancia a recorrer hacia la ubicación final previamente establecida en el sistema GPS, teniendo como objetivo que el equipo este ubicado en su posición final, para que el Área de Operaciones brinde la indicación que el área está totalmente despejada fuera del área de voladura y posteriormente se pueda continuar con el Protocolo de Voladura.

c) Parada y Reinicio de Operaciones con Metodología Just in time (JIT)

Según la metodología Just in Time, la cual se basa en identificar exactamente en qué momento debe parar cada equipo, aplicado a este contexto para que el equipo opere lo máximo posible, sin causar posibles demoras y llegue a su destino final justo a tiempo. Al determinar las horas de paradas de los equipos, se determina a qué hora se envía el último camión a cargar por el equipo próximo a parar, para que no se produzcan desperdicios ni colas para carguío que retrasen el movimiento de los equipos, así como también el Área de Cables y Alta Tensión realizan sus actividades correspondientes siguiendo en plan previamente compartido.

Tabla 21

Determinación de Paradas y Reinicio de Operaciones

Antes	Ahora
Parada de equipos sin planificación, causando demoras en llegar fuera del radio de voladura, por ende, retrasando la hora de disparo	Planificación previa de la hora de parada de equipos, considerando la velocidad de cada equipo, la distancia a recorrer
Envío de camiones para el carguío, cuando la Pala ya debería empezar su traslado hacia su destino final, creando una cola y haciendo que el camión se regrese vacío	Planificación previa de la hora de envío de último camión a cada pala, para que el último camión vaya cargado hacia su destino final, sin causar demoras en el traslado de la pala
Realización de actividades en paralelo, causando que no haya disponibilidad de equipos auxiliares o tiempos muertos para el traslado de los equipos	Planificación previa de la hora de parada de los equipos, gestionando recursos para apoyar al movimiento de las palas, sin causar desperdicios ni falta de disponibilidad de equipos auxiliares.

Nota. Elaboración propia.

Conociendo la hora de parada de cada equipo, se determina el horario en que las unidades que recogerán a cada operador de equipo, realizando una ruta previamente planificada para evitar movimientos innecesarios y recoger a los trabajadores en la hora establecida, así como los operadores conocen que unidad los recogerá esperando atento la llegada.

Tabla 22

Despeje de Personal

Antes	Ahora
Movimientos innecesarios en las rutas establecidas y esperas para recoger a los trabajadores y llevarlos fuera del radio de influencia	Ruta previamente establecida según los horarios de parada de equipo, para recoger a cada operador de equipo

Nota. Elaboración propia.

d) Clasificación de actividades internas y externas (SMED) para despeje de equipos

Según la metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die) es fundamental para reducir el tiempo inoperativo de las maquinas, el clasificar en actividades internas y externas, considerando que las internas son aquellas tareas que se pueden realizar con el equipo tiene que estar parado y las actividades externas son aquellas que se pueden realizar cuando la maquina está en operación, en el caso de despeje de área es decir cuando la maquina está en movimiento.

Para el movimiento de las palas grandes las cuales tienen una velocidad aproximada de 1 km/hr. Es necesario el apoyo del equipo auxiliar encargado de los cables, ya que las palas funcionan de manera energizada extrayendo energía de las subestaciones o de las switch house a través de cables, cuando el equipo se tiene que trasladar a su ubicación final fuera del radio de influencia de la voladura, el área de cables brinda el soporte necesario conectando y desconectando cables entre las fuentes de energía y el equipo, para que la pala se pueda trasladar. Considerando como actividades externas el tendido y preparación de cable, dicha actividad actualmente se realiza paralelamente mientras el equipo está trasladándose.

Aplicando la metodología SMED, para el despeje de equipos se deben de clasificar las actividades externas y las actividades internas. Para cada equipo se define las actividades que se puede realizar durante la noche o con anticipación antes de la voladura evitando realizar las actividades en el momento donde el equipo este en movimiento, asignando el responsable de la ejecución y hora estimada en que la actividad este completada. Estas actividades debieran

permitir al equipo maximizar sus horas de producción y minimizar la cantidad de horas de demora por voladura y reinicio de operaciones.

4.4.2.1.3. Consideraciones para la Planificación de Reinicio de Operaciones.

Para realizar la planificación para el reinicio de operaciones en el proceso de voladura, se debe considerar lo siguiente:

a) Ubicación de Equipos Auxiliares

Los equipos auxiliares son parte fundamental para el movimiento de los equipos grandes como las palas, para el reinicio de operaciones los equipos deben ser ubicados lo más cerca posible a las palas para que regresen a la zona de minado donde estaba antes del despeje de área y de esta manera evitar movimientos innecesarios y un rápido inicio de traslado de pala a su zona de minado.

Además, en algunas oportunidades, la explosión de la voladura causa la obstrucción de accesos lo cual dificulta el reinicio de operaciones hasta que el área está completamente segura y accesible para el ingreso del personal que va a operar. Por dicha razón, se debe asignar equipos auxiliares como excavadoras, motoniveladoras, tractores y cables; fuera del radio de influencia de la voladura, pero estratégicamente cerca ante posibles accesos que podrían ser bloqueados, para que el equipo auxiliar realice las actividades correspondientes y el reinicio de operaciones sea lo más pronto.

b) Ingreso de Personal

Las palas son los equipos encargados de realizar el minado, es decir la extracción de mineral según sea el caso; por ende, los operadores de pala son considerados “Personal Prioridad A”, así como los operadores del equipo auxiliar que apoyara en la limpieza en caso de accesos bloqueados o para que la pala regrese a su zona de minado; por tanto, el “Personal Prioridad A” son los primeros en ingresar al área.

Tabla 23

Asignación de Prioridad de Personal

Prioridad	Personal
A	Operadores de Palas en zonas de minado de mineral Operadores de equipo auxiliar para limpieza de posibles accesos bloqueados Operadores de equipo auxiliar para el traslado de palas a su zona de minado
B	Operadores de palas en zonas de desmonte Operadores de perforadoras y equipo auxiliar Camiones para carguío

Nota. Elaboración propia.

c) Reunión del Comité de Voladura

Diariamente se realiza la reunión de plan diario al finalizar la reunión del plan diario se debe presentar el plan de voladura preliminar un día antes de la voladura, cuyo objetivo es determinar todas las actividades a realizar antes, durante y después del disparo, cumpliendo con la planificación. Donde se aplique una comunicación efectiva de las actividades que se van a realizar para el cumplimiento de los objetivos.

• **Participantes de la reunión:**

Tabla 24

Rol del Comité de Voladura

N°	Participante	Rol en la Reunión
1	Superintendente de Operaciones Mina	Liderar la reunión de planificación Aprobar y difundir el plan
2	Jefe de Operaciones	Explicación del plan de despeje de área Mostrar los proyectos a volar
3	Jefe de Planificación	Exponer próximos movimientos Exponer prioridades de reinicio de producción
4	Jefe de Voladura	Programar tareas para Voladuras
5	Jefe de Cables	Programar tareas de cables
6	Jefe de Alta Tensión	Programar tareas de alta tensión
7	Jefe de Gestión de Operaciones	Seguimiento y análisis de resultados Presentar la conciliación

8 Jefe de Gestión de Flota Programar despeje de personal y gestión de acarreo

Nota. Elaboración propia.

- **Agenda de la reunión**

Considerando que es una reunión diaria con una duración de 15 minutos, el jefe de operaciones debe de realizar previamente el plan de despeje de área, el cual es presentado en la reunión del comité para que todos los involucrados estén informados y en caso tengan alguna observación, modificar el plan en la reunión. Siguiendo el ciclo de Deming, la agenda de la reunión inicia con la revisión de los compromisos previos, la presentación de los resultados de la voladura anterior para que el equipo pueda determinar las oportunidades de mejora existentes y así generar planes de acción, fomentando la cultura de mejora continua. Seguidamente se comparte la información relevante sobre la situación actual de los equipos, los próximos movimientos de la voladura, la clasificación de los equipos según el radio de influencia para proceder a aprobar la asignación de unidades de recojo de personal, la aprobación de las horas de parada y reinicio de operaciones por los involucrados, las ubicaciones estratégicas de los equipos auxiliares y las actividades internas y externas según SMED que se van a realizar con sus respectivos responsables y hora de entrega de la actividad culminada.

Tabla 25

Actividades de la Agenda de la Reunión

N°	Actividad
1	Revisión de compromisos previos
2	Presentación de los resultados de la voladura previa (Conciliación)
3	Generación de Nuevos Planes de Acción
4	Explicación breve de la situación actual de los equipos para la voladura
5	Compartir brevemente los próximos movimientos en la voladura
6	Clasificación de equipos según radio de influencia
7	Aprobar la asignación de unidades para recojo de personal
8	Aprobar las horas de paradas y reinicio por equipo
9	Aprobar la ubicación de equipos auxiliares para despeje de área
10	Aprobar actividades internas y externas, con responsable y fecha de entrega

4.4.2.2. Etapa 2- Hacer.

Después de haber realizado la planificación de las actividades, previamente mencionadas, el siguiente paso es realizar las actividades según el plan de voladura.

Dentro de las principales actividades a realizar se encuentran:

a) Realización de actividades internas y externas

Según el plan previamente realizado en la reunión, donde se determinaron las actividades internas y externas según los criterios del SMED, dichas actividades deben de realizarse antes de la hora indicada según la planificación. El responsable del seguimiento es el Supervisor de Operaciones Mina.

b) La parada de producción de los equipos

Según la planificación previa, los equipos deben de parar su producción a la hora determinada para iniciar su desplazamiento, el equipo de Gestión de Flota. En el caso de las palas eléctricas, se gestiona el envío del último camión de acarreo según dicha de hora de parada de producción, asegurándose que el camión realice su viaje de retorno habiendo sido cargado por la pala y que este no interfiera ni demore su movimiento. En el caso de los demás equipos, estos deben parar operaciones según lo indicado para iniciar su movimiento hacia su ubicación final según GPS.

c) Movimiento de Equipos

El equipo debe de empezar su movimiento según la hora planeada, previamente los recursos necesarios como camas bajas, cables y equipos auxiliares fueron asignados a dicho movimiento del equipo.

Tabla 26

Recursos Necesarios para Movimiento de Equipos

Equipo	Recursos Necesarios para Movimiento
Palas Eléctricas	Equipo auxiliar Cables

Perforadoras	Equipo auxiliar Cables Cama Baja
Camiones de Acarreo Switch House	- Cables
Subestación Eléctrico	Equipo Auxiliar Cables Cama Baja

Nota. Elaboración propia.

Figura 25

Movimiento de Pala Eléctrica



Nota. Elaboración propia.

En la figura 25 se observa que la pala está en movimiento hacia su destino asignado, el equipo auxiliar está movilizandolos cables para que la pala se pueda trasladar.

d) Ubicación Final de equipos según GPS

Previamente cargado la ubicación final y exacta de los equipos, los operadores de estos deben de ubicarlos en dicho punto, asegurándose que el sistema les marque en color verde la ubicación, esto indica que el equipo está en la ubicación correcta, evitando que se marque la ubicación en color rojo lo cual significa que el equipo no está en el punto indicado según GPS.

El responsable de la ubicación final de los equipos es el área de Dispatch, verificado por el Supervisor de Operaciones Mina.

e) Recojo de personal

Se ejecuta el recojo de personal, según la camioneta asignada, estableciendo una ruta la cual no genere desperdicios. Los operadores saben que camioneta los recogerá y la hora de recojo entonces, se encuentran esperando la móvil, minimizando la probabilidad de existan esperas. El recojo es segmentado según la asignación de prioridad A o prioridad B, para tener un rápido inicio de operaciones. En la figura 26 se puede observar que la camioneta asignada está recogiendo al operador de la pala, para evacuarlo fuera de los 500 metros.

Figura 26

Recojo de Personal



Nota. Elaboración propia.

f) Entrega de Área Despejada

Además del área de Operaciones Mina, existen diversas áreas que realizan trabajos en el tajo, como el área de Mantenimiento, Perforación, Exploraciones, Geología Hidrogeología, Geotecnia, Drenaje, entre otras. Se estandariza la hora de entrega de área despejada de equipos y personal antes de los 15 minutos de la hora programa del disparo para todas las áreas, salvo excepciones contempladas en el plan, para posteriormente iniciar con el Protocolo de Voladura y que la hora de disparo se cumpla de acuerdo a lo programado.

g) Estrategias para Reinicio de Operaciones

En la reunión de cambio de guardia el jefe de operaciones del turno entrante informa a los operadores prioridad A las actividades a realizar para el reinicio de operaciones.

El relevo del personal Prioridad A, los cuales son operadores de pala, equipos auxiliares y cables, deben de esperar a 50 metros de la ubicación del vigía, siendo estos los primeros en ingresar para asegurar el pronto retorno de las palas a las zonas de minado, para posteriormente empiecen con la extracción de mineral.

Los equipos auxiliares serán dejados cerca de las palas, para que cuando se aperture el acceso, el personal “Prioridad A” ingrese y comiencen a realizar las actividades de traslado de palas, así como también el equipo auxiliar de limpieza de vías, tendrán ubicaciones estratégicas en caso alguna vía dentro del radio de influencia se obstruya, para que este actúe rápidamente aperturando el paso. En la Figura 27 se puede observar que la camioneta que transporta al personal A se está aproximando a dejar a los operadores de la pala y equipos auxiliar los cuales se quedaron cerca a la pala con el objetivo de empezar el movimiento a la brevedad posible.

Figura 27

Ingreso de Personal Prioridad A



Nota. Elaboración propia.

Además, se debe asignar una cola mínima de 3 camiones detrás del vigía y del personal prioridad A, los cuales deben de dirigirse a la pala asignada para trasladar el mineral hacia la chancadora primaria, los demás camiones realizarán otras actividades mientras se ejecuta el protocolo de voladura, serán enviados parqueos para realizar tareas de inspección y limpieza, así como también se dirigirán a los grifos para el llenado de combustible y continuar operaciones con equipos fuera de los 500 metros. En la figura se puede observar la cola de camiones con la tolva vacía, esperando la apertura de accesos para posteriormente ser cargados en el proceso de carguío realizado por la pala.

Figura 28

Espera de Camiones Atrás del Vigía



Nota. Elaboración propia.

h) Protocolo de Voladura

El protocolo de voladura contempla el cierre de accesos a la hora indicada por parte de los vigías, tareas estandarizadas por el área de seguridad, emisión de señales preventivas con un alcance mayor a los 500 metros, programación del disparo, entre otras actividades. Seguidamente se realiza el disparo bajo la orden del supervisor de voladura, para posteriormente aperturar los accesos siempre y cuando el área de seguridad brinde su aprobación.

4.4.2.3. Etapa 3- Verificar.

Para cada voladura se debe realizar una comparación entre lo planificado y lo ejecutado realmente en campo, dicho análisis nos ayuda a determinar nuestras oportunidades de mejora, así como para tener una gestión efectiva y mejora continua. Cabe resaltar que los tiempos son obtenidos por sistema *Fleet Management System* (FMS) administrado por el área de Dispatch de Operaciones Mina, quienes administran la flota.

a) Análisis de Resultados

Se realizó el análisis de resultados del tiempo planificado comparado con el real para lo parada de equipos y la hora de disparo. Presentando una representación visual integral de la eficiencia operativa del plan de voladura. Integrando datos en tiempo real, muestra la programación prevista de actividades, comparada con los datos reales.

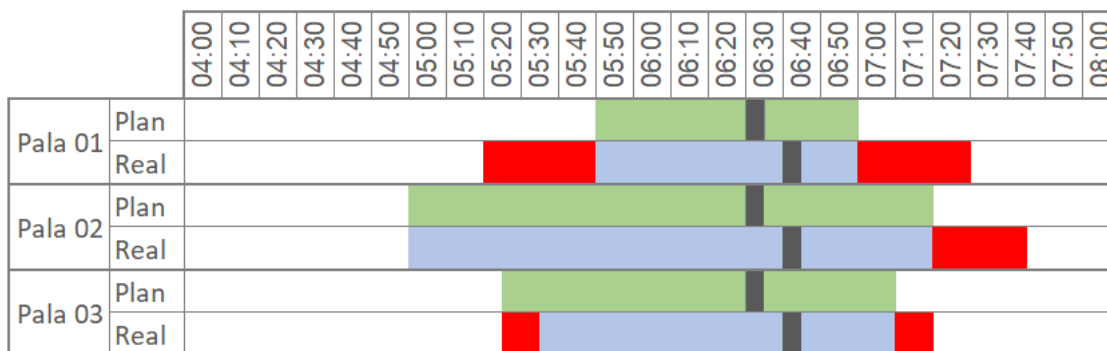
Este análisis no solo proporciona una visión instantánea del desempeño operativo, sino que también sirve como una herramienta valiosa para la planificación futura y la mejora continua de las actividades. Este analiza los tiempos de parada real por cada pala, que son los principales equipos encargados de la producción, y los compara con el tiempo planificado, brindando en el gráfico, el color verde representa el tiempo planeado de parada del equipo, el color azul el tiempo real según plan que está parado el equipo y el color rojo representa el tiempo de parada fuera del plan, indicándonos que existe una desviación respecto a lo planeado como se puede observar en la leyenda de la figura 29, además se considera en color plomo oscuro la hora de disparo y en color plomo claro el tiempo de inspección de seguridad y disipación de polvo, que son considerados unos 15 minutos post disparo, seguido de esto sin existir anomalías en el proceso, se da el reingreso de personal al área para reiniciar operaciones.

En la figura 29 como ejemplo, nos indica no se cumplió plan, la pala 01 paro sus operaciones anticipadamente y su reinicio de operaciones también fue tardío. La pala 2 paro a tiempo sus operaciones, pero su reinicio fue tardío,

Figura 29

Herramienta de Comparación de Resultados

Analisis Real Vs Plan Parada de Equipos Voladura



Nota. Elaboración propia.

b) Confirmación del Proceso

Se implementó el uso de la confirmación del proceso es de vital importancia porque contribuye a que las practicas establecidas en la estandarización se estén realizando de acuerdo a lo programado, con el objetivo de identificar posibles oportunidades de mejora y poder realizar los compromisos adecuados para eliminar estas desviaciones, generando los resultados esperados por la estandarización.

Durante la realización de las actividades el líder del proceso del área quien es el Superintendente de Operaciones Mina es quien deberá de llenar el checklist (Confirmación del Proceso), donde validara que todo lo indicado en la estandarización para la ejecución fue cumplido. Este documento contempla todas las actividades consideradas como esenciales para el despeje de área y rápido reinicio de operaciones, considerando en su estructura el ciclo PDCA, el cual es el que se implementó en la investigación. El líder del proceso deberá de

marcar “C” en caso si se cumplió, “NC” en caso no se cumplió y “NA” en caso de que no aplique.

El documento “Confirmación de Proceso” para el despeje y reinicio de operaciones de voladura” fue validado por 3 expertos, en el área de la excelencia operacional y operaciones mineras (Anexo 1).

Figura 30

Confirmación del Proceso

CONFIRMACION DE PROCESO ESTANDARIZACIÓN PROCESO DE VOLADURA (DESPEJE Y REINICIO DE OPERACIONES)			
FECHA:		HORA DE VOLADURA:	
NOMBRE DEL TRABAJADOR			
NOMBRE DEL OBSERVADOR			
1. Planificar		C	NC NA
1.1 Se conoce las ubicaciones actuales de los equipos en la zona de influencia			
1.2 Se determino las horas de parada y reinicio de operaciones para cada equipo equipo			
1.3 Se determino la ubicación final de los equipos			
1.4 Se determinaron las actividades internas y externas, con responsables y hora de entrega			
1.5 Se determinaron los recursos utilizados para el despeje de area			
1.6 Se realizo la asignacion de camionetas para salida e ingreso del personal			
2. Hacer		C	NC NA
2.1 Se ejecutaron las actividades previas a la hora acordada			
2.2 Se realizo la parada de equipos a la hora planificada			
2.3 Los equipos se movilizaron hacia su ubicación estrategica priorizando reinicio de operaciones, sin movimientos innecesarios			
2.4 Las camionetas asignadas recogieron a los operadores asignados			
2.5 El area estuvo despejada minutos antes de la voladura			
2.6 Los camiones realizaron el proceso de inspeccion y limpieza durante el despeje del area			
2.7 Las actividades fuera de los 500 mtrs se llevaron a cabo con normalidad			
2.8 Los operadores de equipos y camiones ingresaron al area según prioridad			
2.9 Los equipos comenzaron a operar según la hora planificada			
3. Verificar		C	NC NA
3.1 Se reviso que los equipos se movilizaron a sus ubicaciones estrategicas según ubicación GPS			
3.2 Se realizo la conciliacion de las horas de parada de equipos reales y las horas de parada de equipo planificadas			
3.3 La hora de disparo se realizo a las 6:30 am, sin demoras			
4. Actuar		C	NC NA
4.1 Se generaron y ejecutaron los planes de acciones de los item calificados como "NC" en el tiempo establecido			

Nota. Elaboración propia.

4.4.2.4. Etapa 4- Actuar.

En la reunión diaria del comité de voladura, según las desviaciones encontradas por el equipo de Gestión de Operaciones, la Confirmación de Proceso y las diversas opiniones de los

involucrados, se determinan las oportunidades de mejora enfocadas en cumplir el objetivo el cual es disminuir al mínimo la parada de equipos por voladura. En la reunión mencionada, se generan los nuevos planes de acción para eliminar cualquier desviación o mejorar el proceso continuamente, en la reunión se determina los responsables y las fechas de entrega.

Adicionalmente se realiza mensualmente el taller de lecciones aprendidas, el cual nos ayuda a identificar las buenas prácticas y las practicas por mejorar y compartir nuestros conocimientos con todos los involucrados, previniendo la repetición de errores y fortaleciendo el trabajo colaborativo y la comunicación entre los involucrados del proceso, donde además , se realizan preguntas referente a los que desean conservar en el proceso, que deben de cambiar, que pasa si no cambio y que beneficios obtendré con estos cambios.

Figura 31

Taller de Lecciones Aprendidas



Nota. Elaboración propia.

4.5. Actividades de implementación

4.5.1. Capacitación a los involucrados

4.5.1.1 Capacitación en Lean.

Para la implementación de la estandarización primeramente se determinó capacitar a los líderes en la metodología del ciclo PDCA, importancia de la estandarización en los procesos para la reducción de la variabilidad de los procesos, la eliminación de los 8 desperdicios, la clasificación de actividades internas y externas según la metodología SMED, Poka Yoke y la metodología Just In Time, las cuales son herramientas lean que se necesitan dominar como líderes de áreas operativas, cuyo es objetivo es la búsqueda constante de la generación de valor. Dentro de los talleres de capacitación se realizaron actividades prácticas en grupo donde cada equipo clasificaba que tipo de desperdicio estaba siendo generado tomando como ejemplos actividades del día a día y la clasificación de actividades internas y externas.

Figura 32

Capacitación Herramientas Lean



Nota. Elaboración propia.

4.5.1.2 Capacitación en el nuevo modelo estandarizado.

Para el diseño de nuevo modelo de trabajo se consideró un trabajo colaborativo con todos los involucrados en el proceso de la voladura, con el objetivo de proponer mejoras sostenibles y por ende resultados permanentes. Después de la aprobación del nuevo estándar por el Gerente de Mina, se capacito a todos los lideres del proceso de las diversas guardias según las nuevas actividades a realizar por cada área según las estrategias propuestas y el nuevo flujograma a implementarse.

Figura 33

Capacitación según Nuevo Estándar



Nota. Elaboración propia.

Adicionalmente, se capacitó a todos los involucrados en diferentes grupos sobre las herramientas a considerar en este nuevo modelo estandarizado en el proceso de despeje de área para voladura y reinicio de operaciones post disparo de voladura.

Figura 34*Capacitación Confirmación de Procesos*

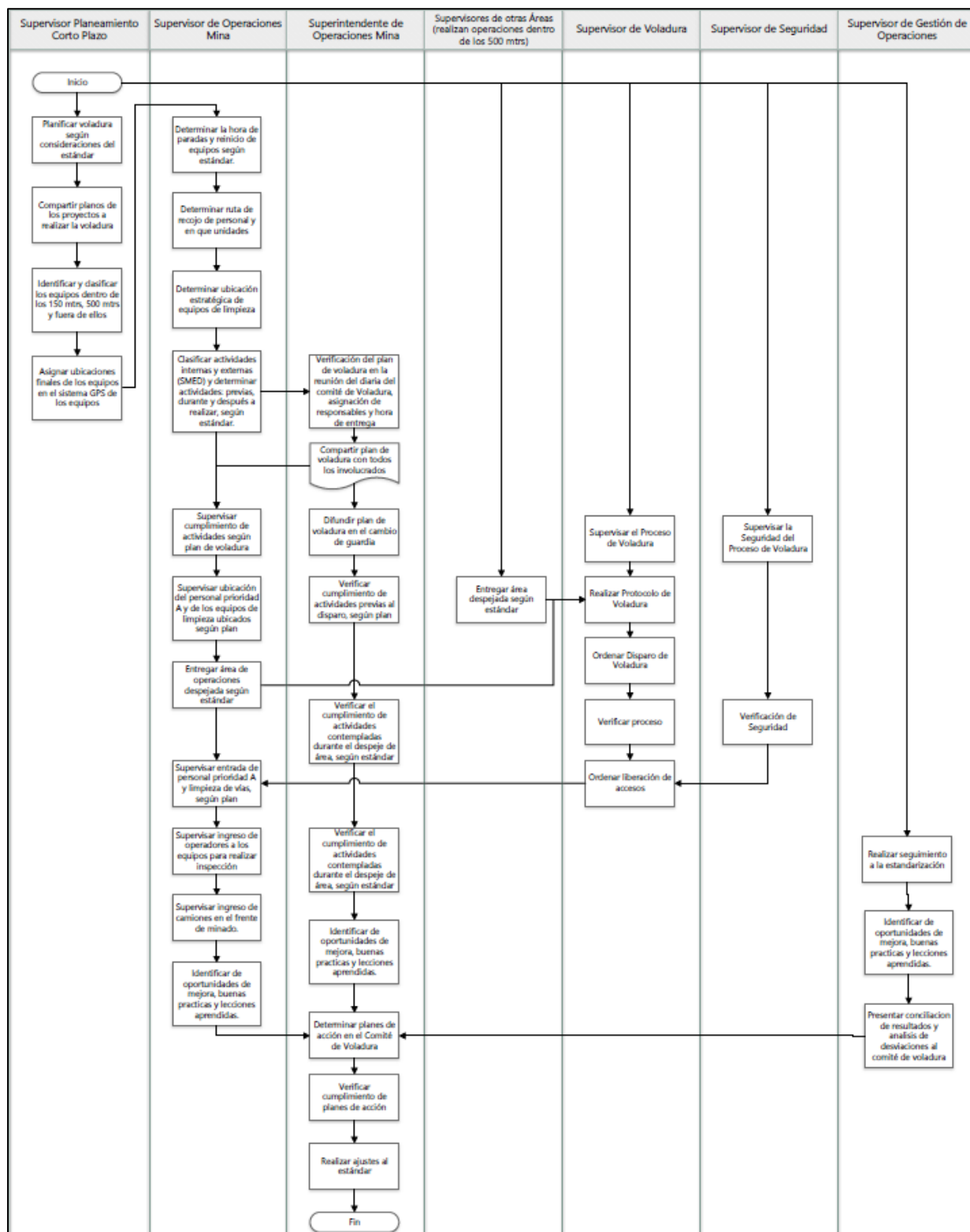
Nota. Elaboración propia.

4.6. Estandarización del Proceso

Al ser el despeje de área un proceso con múltiples variaciones, ya que el tajo es un terreno que cambia constantemente y al igual que los planes de minado, no habiendo existido una metodología establecida, se implementó la estandarización del proceso de despeje de área y reinicio de operaciones, estableciendo un procedimiento uniforme con la finalidad de eliminar las variaciones, como base de la mejora continua, donde constantemente se puedan realizar mejoras y ajustes al estándar, eliminando desperdicios y aumentando el nivel de producción de las palas, lo que significa un mayor envío de mineral a la chancadora, quien sería el cliente del área de mina.

Figura 35

Flujograma de la Estandarización de Despeje de Área y Reinicio de Operaciones



Nota. Elaboración propia.

4.6.1. Modelo de Gobernanza para la Estandarización

Para la implementación del nuevo estándar se añadieron las siguientes responsabilidades a las siguientes posiciones, respecto a la estandarización del despeje de área y el reinicio de operaciones, considerando que son actividades adicionales a las actividades propias de cada puesto.

4.6.1.1 Superintendente de Operaciones Mina.

El superintendente de Operaciones Mina es el responsable del despeje de área a tiempo para realizar el disparo de voladura, lo cual incluye las siguientes actividades:

- a. Liderar la reunión de planificación de Voladura, junto con el comité de la voladura, asegurándose de que cada representante de cada área involucrada este presente.
- b. Velar por el cumplimiento del nuevo proceso estandarizado.
- c. Determinar el plan de voladura, por actividades previas, durante y después, así como la asignación de responsables por actividad y la hora de entrega de estas.
- d. Aprobar y difundir el plan de voladura con los demás involucrados.
- e. Liderar la planificación, ejecución y seguimiento del proceso estandarizado de despeje de área y reinicio de operaciones por voladura.
- f. Autorizar los cambios de plan durante la ejecución en coordinación con los involucrados.
- g. Realizar la Confirmación de Proceso.
- h. Realizar el seguimiento a los planes de acciones, por las desviaciones encontradas.
- i. Evaluar las necesidades de mejora del proceso de voladura.
- j. Fomentar la cultura de mejora continua.

4.6.1.2. Supervisor de operaciones mina.

- a. Realizar el plan de despeje de área y reinicio de operaciones a presentar en la reunión del comité de voladura.
- b. Asegurar la disponibilidad de recursos necesarios para realizar el plan.
- c. Asegurar la ejecución de las actividades previas en el plazo determinado.
- d. Asegurar el cumplimiento de las actividades según estándar.
- e. Supervisar la parada de equipos a la hora programada para que inicien el despeje de área.
- f. Asegurar el despeje de área en su totalidad en el plazo determinado.
- g. Supervisar la ubicación de los equipos según el plan.
- h. Asegurar la ejecución de actividades de reinicio de operaciones, de acuerdo a las prioridades y plazos del plan.

4.6.1.3. Ingeniero de planeamiento.

- a. Remitir el plan de voladura a todos los involucrados, con los radios de influencia, en un plazo determinado.
- b. Compartir los próximos movimientos e información relevante para determinar que equipos y personal serán prioridad A.
- c. Proponer la ubicación estratégica de los equipos, considerando los próximos movimientos y plan de minado.
- d. Cargar el radio de influencia de la voladura y las ubicaciones de equipos al sistema GPS.

4.6.1.4 Jefe de Gestión de Operaciones.

- a. Realizar seguimiento a la implementación de la estandarización.
- b. Presentar conciliación de resultados y análisis de desviaciones al comité de voladura.
- c. Seguimiento de KPI's involucrados en el proceso.
- d. Fomentar la cultura de mejora continua.

Por tanto, en el capítulo IV se detallaron todas las actividades implementadas según cronograma, para el despeje de área y reinicio de operaciones post voladura, en estas actividades contempladas en la estandarización, se utilizó la metodología PDCA, criterios asociados a SMED, Poka Yoka y Just in Time. Así como también se capacitó a todo el personal sobre el nuevo modelo de gobernanza y el nuevo flujograma del proceso.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS DE LA ESTANDARIZACIÓN

Después de la implementación de la estandarización, la capacitación a todos los líderes involucrados y la autorización correspondiente, se procedió a implementar los pilotos, así como en el mes de mayo se concluye con la implementación de la estandarización, para que a partir del mes de junio en adelante el equipo continúe con la estandarización dentro de sus funciones diarias.

Para los resultados se analizaron los datos desde junio hasta el mes de octubre, considerando la entrega del presente trabajo.

5.1. Dimensión: Confirmación del Proceso (CdP)

La herramienta de Confirmación del Proceso mencionada en el capítulo 4, tiene por objetivo verificar que todas las actividades dentro de la estandarización se cumplan y proponer planes de acción ante posibles desviaciones, esta herramienta es utilizada por el Superintendente de Operaciones Mina como líder del despeje de área y reinicio de operaciones post voladura.

Se propuso aplicar la herramienta semanalmente, ya que durante la semana se realizan en promedio 5 voladuras, donde cualquiera de estas es elegido para realizar la observación de la estandarización, mediante la Confirmación del Proceso.

Tabla 27

Confirmaciones del Proceso Ejecutadas

Mes	Numero de CdP	
	Planeados	Numero de CdP Ejecutados
Junio	4	3
Julio	4	2
Agosto	4	4
Setiembre	4	3
Octubre	4	4
Total	20	16

Nota. Elaboración propia.

Para el indicador considerado en la presente dimensión considerada, se analizan las Confirmaciones del Proceso realizadas sobre las planeadas, durante los 5 meses que se están considerando para el análisis de los resultados, se contemplaron 20 planeadas, de los cuales se ejecutaron un total de 16, lo que nos indica que el cumplimiento del indicador es del 80%.

5.2. Dimensión: Adherencia al Plan (AP)

Según cronograma de implementación en el mes de mayo, se realizaron los primeros pilotos con 4 guardias distintas, además para medir el presente indicador se utilizó la ficha de confirmación del proceso. Cabe mencionar que la hora de voladura estandarizada es a las 6:30 a.m y posterior a la revisión de seguridad y disposición de polvo, se apertura los accesos.

5.1.1 Resultados Primer Piloto

En el primer piloto que se realizó, 2 equipos se encontraban fuera de los 150 metros, pero dentro de los 500 metros, lo cual no implicaba un movimiento de equipo, pero si un despeje de personal, los equipos eran la Pala 04 y la Pala 05.

La pala 04, tenía programado detener su producción a las 06:20 horas, para que la camioneta asignada recoja al operador considerando que fue el primer piloto se consideró la reducción de tiempos, la parada real fue a las 06:25 horas. Así mismo, el tiempo programado para que la pala estuviera parada fue de 30 min, pero en la realidad fue de 31 minutos, habiendo iniciado su producción a las 06:56 horas.

En el caso de la 05, esta estaba programada para parar su producción a las 06:15 horas, su hora de parada real fue a las 06:20 horas, la hora de reinicio de operaciones estaba programado para las 06:55 horas pero en la realidad fue a las 07:08 horas, teniendo 48 minutos de parada cuando los minutos programados de parada fueron de 40 minutos.

Tabla 28

Resultados Tiempos Piloto 1

Equipo	Parada Plan	Parada Real	Reinicio Plan	Reinicio Real	Min Parada Plan	Min Parada Real
P04	06:20	06:25	06:50	06:56	30	31
P05	06:15	06:20	06:55	07:08	40	48

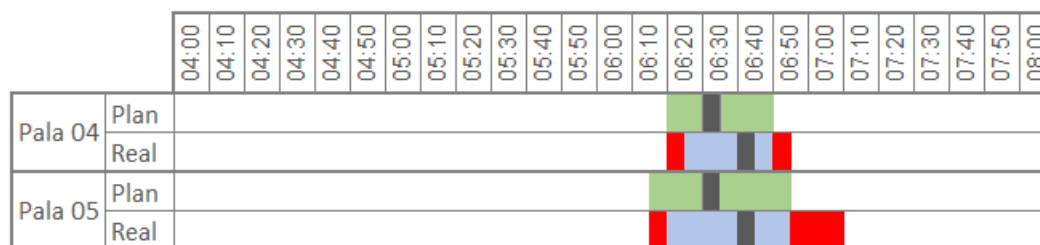
Nota. Elaboración propia.

Figura 36

Resultados Piloto 1

Piloto 1

Analisis Real Vs Plan Parada de Equipos Voladura



Nota. Elaboración propia.

La hora de disparo se realizó a las 06:38 a.m, es decir 8 minutos después de la hora programada, se ejecutaron 9 minutos de parada de ambos equipos fuera del plan, al ser el mismo modelo de Pala, su productividad por hora según data de la empresa es de 3900 ton/hr, lo cual representa una pérdida de 585 toneladas por los 9 minutos de parada de equipo no considerados en el plan, esta información es compartida con todo el equipo para que se conozca el impacto directo sobre la producción, por las desviaciones presentadas fuera del plan.

Tabla 29*Resultados Indicadores Piloto 1*

Indicadores	Plan	Real
Hora de Disparo	06:30	06:37
Minutos de Parada de Equipo	70	79
Minutos Parado Fuera de Plan	0	9
Hora Parada Fuera del Plan	0	0.15
Tonelaje Perdido	585	

Nota. Elaboración propia.

Así mismo se presenta las respuestas de la confirmación del proceso, aplicada en el primer piloto, lo cual permite conocer las desviaciones del plan, se determina que los equipos no pararon a la hora planificada ni tampoco el reinicio se dio según plan, por lo cual el despeje presento una demora.

Figura 37

Confirmación del Proceso Piloto 1

CONFIRMACION DE PROCESO ESTANDARIZACIÓN PROCESO DE VOLADURA (DESPEJE Y REINICIO DE OPERACIONES)

FECHA:	09-05-24	HORA DE VOLADURA:	06:30
NOMBRE DEL TRABAJADOR	[Firma]		
NOMBRE DEL OBSERVADOR	[Firma]		

1. Planificar	C	NC	NA
1.1 Se conoce las ubicaciones actuales de los equipos en la zona de influencia	✓		
1.2 Se determino las horas de parada y reinicio de operaciones para cada equipo equipo	✓		
1.3 Se determino la ubicación final de los equipos	✓		
1.4 Se determinaron las actividades internas y externas, con responsables y hora de entrega	✓		
1.5 Se determinaron los recursos utilizados para el despeje de area	✓		
1.6 Se realizo la asignacion de camionetas para salida e ingreso del personal	✓		
2. Hacer	C	NC	NA
2.1 Se ejecutaron las actividades previas a la hora acordada	✓		
2.2 Se realizo la parada de equipos a la hora planificada		X	
2.3 Los equipos se movillizaron hacia su ubicación estrategica priorizando reinicio de operaciones, sin movimientos Innecesarios	✓		
2.4 Las camionetas asignadas recogieron a los operadores asignados		X	
2.5 El area estuvo despejada minutos antes de la voladura		X	
2.6 Los camiones realizaron el proceso de inspeccion y limpieza durante el despeje del area	✓		
2.7 Las actividades fuera de los 500 mtrs se llevaron a cabo con normalidad	✓		
2.8 Los operadores de equipos y camiones ingresaron al area según prioridad	✓		
2.9 Los equipos comenzaron a operar según la hora planificada			X
3. Verificar	C	NC	NA
3.1 Se reviso que los equipos se movillizaron a sus ubicaciones estrategicas según ubicación GPS	✓		
3.2 Se realizo la conciliacion de las horas de parada de equipos reales y las horas de parada de equipo planificadas	✓		
3.3 La hora de disparo se realizo a las 6:30 am, sin demoras			X
4. Actuar	C	NC	NA
4.1 Se generaron y ejecutaron los planes de acciones de los item calificados como "NC" en el tiempo establecido	✓		

Superintendente de Operaciones Mina

Nota. Elaboración propia.

Como resultado de la adherencia al plan del presente piloto, se propusieron 19 actividades clave en la estandarización consideradas como actividades planeadas, de las cuales se realizaron 14, teniendo como resultado una adherencia al plan del 74%.

5.1.2 Resultados Segundo Piloto

En el segundo piloto que se realizó, 3 equipos en el radio de influencia de la voladura, los cuales son la pala 02, 03 y 05.

La pala 02, tenía programada paralizar sus operaciones a las 06:05 horas, la hora real fue a las 06:08 horas, la pala 03 tenía planeado parar su producción a las 06:15 horas, dicha pala paralizó 2 minutos antes y respecto a la pala 05 se planificó paralizar sus actividades a las 06:10, lo cual en la realidad se ejecutó un minuto después. Las paralizaciones se realizaron acorde al plan, teniendo en consideración cierta holgura en los tiempos.

De igual manera las horas de reinicio de operaciones de los equipos se consideran dentro de lo planeado, teniendo una diferencia mínima con lo real. Lo cual no impactó en la hora de disparo.

Tabla 30

Resultados Tiempos Piloto 2

Equipo	Parada Plan	Parada Real	Reinicio Plan	Reinicio Real	Min Parada Plan	Min Parada Real
P02	06:05	06:08	06:55	06:56	50	48
P03	06:15	06:14	06:55	06:50	40	36
P05	06:10	06:11	07:00	06:53	50	42

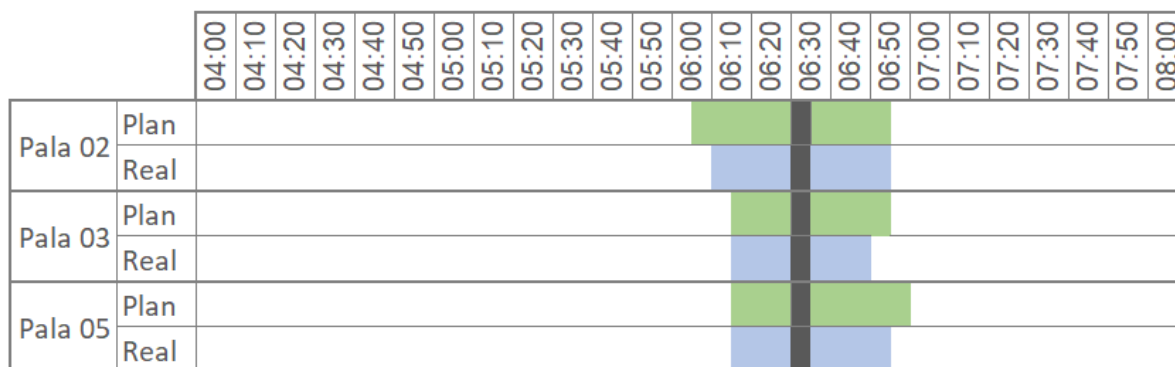
Nota. Elaboración propia.

Figura 38

Resultados Piloto 2

Piloto 2

Análisis Real Vs Plan Parada de Equipos Voladura



Nota. Elaboración propia.

La hora del disparo ejecutado fue a las 06:28 am, es decir 2 minutos antes de lo programado. Considerando la adherencia al plan, no hubo pérdidas de tonelaje, ya que no hubo minutos de parada fuera del plan.

Tabla 31

Resultados Indicadores Piloto 2

Indicadores	Plan	Real
Hora de Disparo	06:30	06:28
Minutos de Parada de Equipo	140	126
Minutos Parado Fuera de Plan	0	0
Hora Parada Fuera del Plan	0	0
Tonelaje Perdido		0

Nota. Elaboración propia.

Así mismo se presenta las respuestas de la confirmación del proceso, aplicada en el segundo piloto, lo cual nos permite conocer las desviaciones del plan.

Figura 39

Confirmación del Proceso Piloto 2

CONFIRMACION DE PROCESO ESTANDARIZACIÓN PROCESO DE VOLADURA (DESPEJE Y REINICIO DE OPERACIONES)

FECHA:	21/05/2024	HORA DE VOLADURA:	06:30
NOMBRE DEL TRABAJADOR	A...		
NOMBRE DEL OBSERVADOR	E...		

1. Planificar	C	NC	NA
1.1 Se conoce las ubicaciones actuales de los equipos en la zona de influencia	/		
1.2 Se determino las horas de parada y reinicio de operaciones para cada equipo	/		
1.3 Se determino la ubicación final de los equipos	/		
1.4 Se determinaron las actividades internas y externas, con responsables y hora de entrega	/		
1.5 Se determinaron los recursos utilizados para el despeje de area	/		
1.6 Se realizo la asignacion de camionetas para salida e ingreso del personal	/		
2. Hacer	C	NC	NA
2.1 Se ejecutaron las actividades previas a la hora acordada	/		
2.2 Se realizo la parada de equipos a la hora planificada	/		
2.3 Los equipos se movilizaron hacia su ubicación estrategica priorizando reinicio de operaciones, sin movimientos innecesarios	/		
2.4 Las camionetas asignadas recogieron a los operadores asignados	/		
2.5 El area estuvo despejada minutos antes de la voladura	/		
2.6 Los camiones realizaron el proceso de inspeccion y limpieza durante el despeje del area	/		
2.7 Las actividades fuera de los 500 mtrs se llevaron a cabo con normalidad	/		
2.8 Los operadores de equipos y camiones ingresaron al area según prioridad	/		
2.9 Los equipos comenzaron a operar según la hora planificada	/		
3. Verificar	C	NC	NA
3.1 Se reviso que los equipos se movilizaron a sus ubicaciones estrategicas según ubicación GPS	/		
3.2 Se realizo la conciliacion de las horas de parada de equipos reales y las horas de parada de equipo planificadas	/		
3.3 La hora de disparo se realizo a las 6:30 am, sin demoras	/		
4. Actuar	C	NC	NA
4.1 Se generaron y ejecutaron los planes de acciones de los item calificados como "NC" en el tiempo establecido	/		

Superintendente de Operaciones Mina

Nota. Elaboración propia.

Analizando la adherencia al plan del presente piloto, se propusieron 19 actividades clave en la estandarización consideradas como actividades planeadas, de las cuales se realizaron 18 y 1 no aplica, teniendo como resultado una adherencia al plan del 100%.

5.1.3 Resultados Tercer Piloto

En el tercer piloto que se realizó, 3 equipos en el radio de influencia de la voladura, los cuales son la pala 02, 03 y 05.

La pala 02, tenía programada paralizar sus operaciones a las 06:10 horas, la hora real fue a las 06:13 horas, la pala 03 tenía planeado parar su producción a las 06:15, dicha pala paralizó a las 06:16 y respecto a la pala 05 se planeó paralizar sus actividades a las 06:00, lo cual en la realidad se ejecutó un minuto antes. Las paralizaciones se realizaron acorde al plan, considerando que la diferencia de minutos está contemplada dentro de los límites establecidos.

De igual manera las horas de reinicio de operaciones de los equipos se consideran dentro de lo planeado con una diferencia mínima, a excepción de la pala 02 que reinició sus operaciones 7 minutos después de lo planeado y tuvo una corta demora por un cambio de cable.

Tabla 32

Resultados Tiempos Piloto 3

Equipo	Parada Plan	Parada Real	Reinicio Plan	Reinicio Real	Mín Parada Plan	Mín Parada Real
P02	06:10	06:13	06:50	06:57	40	44
P03	06:15	06:16	06:50	06:53	35	37
P05	06:00	05:59	07:00	06:55	60	56

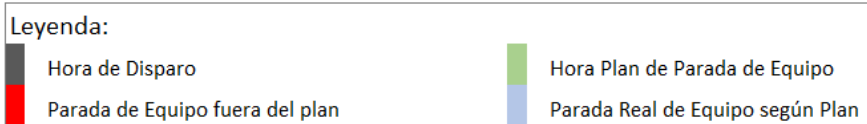
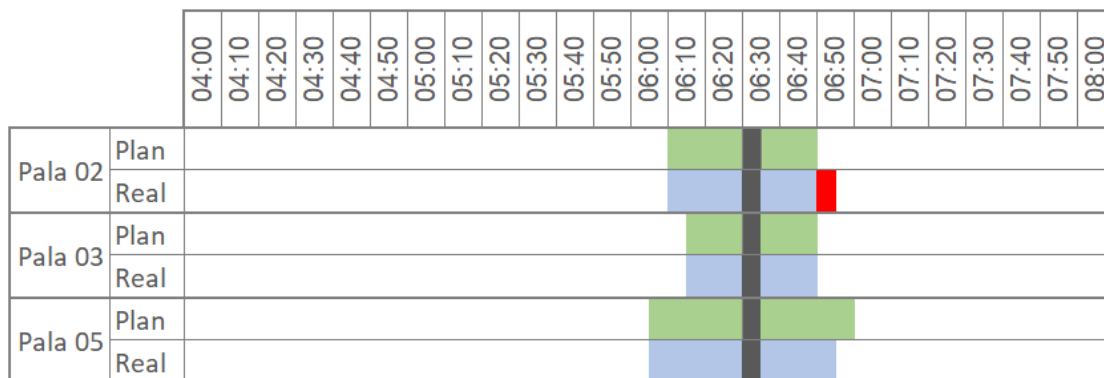
Nota. Elaboración propia.

Figura 40

Resultados Piloto 2

Piloto 3

Análisis Real Vs Plan Parada de Equipos Voladura



Nota. Elaboración propia.

La hora del disparo fue realizada a las 06:34 am, es decir 4 minutos de demora respecto a lo programado, teniendo en total 2 minutos de parada fuera de lo contemplado en el plan.

Tabla 33

Resultados Indicadores Piloto 3

Indicadores	Plan	Real
Hora de Disparo	06:30	06:34
Minutos de Parada de Equipo	135	137
Minutos Parado Fuera de Plan	0	2
Hora Parada Fuera del Plan	0	0.03
Tonelaje Perdido	130	

Nota. Elaboración propia.

Así continuación se presenta las respuestas de la confirmación del proceso, aplicada en el tercer piloto, lo cual nos permite conocer las desviaciones del plan.

Figura 41

Confirmación del Proceso Piloto 3

CONFIRMACION DE PROCESO ESTANDARIZACIÓN PROCESO DE VOLADURA (DESPEJE Y REINICIO DE OPERACIONES)

FECHA:	26.05.19	HORA DE VOLADURA:	06:30
NOMBRE DEL TRABAJADOR			
NOMBRE DEL OBSERVADOR			
1. Planificar	C	NA	
1.1 Se conoce las ubicaciones actuales de los equipos en la zona de influencia	✓		
1.2 Se determino las horas de parada y reinicio de operaciones para cada equipo equipo	✓		
1.3 Se determino la ubicación final de los equipos	✓		
1.4 Se determinaron las actividades internas y externas, con responsables y hora de entrega	✓		
1.5 Se determinaron los recursos utilizados para el despeje de area	✓		
1.6 Se realizo la asignacion de camionetas para salida e ingreso del personal	✓		
2. Hacer	C	NA	
2.1 Se ejecutaron las actividades previas a la hora acordada	✓		
2.2 Se realizo la parada de equipos a la hora planificada	✓		
2.3 Los equipos se movizaron hacia su ubicación estrategica priorizando reinicio de operaciones, sin movimientos innecesarios	✓		
2.4 Las camionetas asignadas recogieron a los operadores asignados	✓		
2.5 El area estuvo despejada ... minutos antes de la voladura		X	
2.6 Los camiones realizaron el proceso de inspeccion y limpieza durante el despeje del area	✓		
2.7 Las actividades fuera de los 500 mtrs se llevaron a cabo con normalidad	✓		
2.8 Los operadores de equipos y camiones ingresaron al area según prioridad	✓		
2.9 Los equipos comenzaron a operar según la hora planificada		X	
3. Verificar	C	NA	
3.1 Se reviso que los equipos se movizaron a sus ubicaciones estrategicas según ubicación GPS	✓		
3.2 Se realizo la conciliacion de las horas de parada de equipos reales y las horas de parada de equipo planificadas	✓		
3.3 La hora de disparo se realizo a las 6:30 am, sin demoras		X	
4. Actuar	C	NA	
4.1 Se generaron y ejecutaron los planes de acciones de los item calificados como "NC" en el tiempo establecido	✓		

Superintendente de Operaciones Mina

Nota. Elaboración propia.

Analizando la adherencia al plan del presente piloto, se propusieron 19 actividades clave en la estandarización consideradas como actividades planeadas, de las cuales se realizaron 16, teniendo como resultado una adherencia al plan del 84%.

5.3. Dimensión: Tiempo de Parada de Palas por Voladura (TP)

Analizando el tiempo de parada de palas por la voladura, posteriores a los 3 meses de duración de la implementación de la estandarización, se consideran resultados sostenibles desde el mes de junio del 2024 hasta el mes de octubre del 2024, que se realizó la investigación.

Tabla 34

Resultado Total de Horas de Parada por Pala

Mes	Total Pala 1	Total Pala 2	Total Pala 3	Total Pala 4	Total Pala 5	Total Pala 6	Total Pala 7
Junio	N/A	10.7360	16.0366	4.2652	14.4939	6.8649	9.2649
Julio	1.4976	7.1405	11.5368	6.1160	9.2394	6.8087	7.6667
Agosto	4.6702	13.1846	17.8215	3.2302	17.8811	2.8193	4.3276
Setiembre	4.6890	6.3504	8.5892	3.9950	N/A	7.0643	9.5560
Octubre	6.0721	5.8637	12.7550	3.5688	3.4685	3.9706	11.4553
Total	16.9289	43.2752	66.7391	21.1751	45.0828	27.5276	42.2705

Nota. Elaboración propia.

Tabla 35

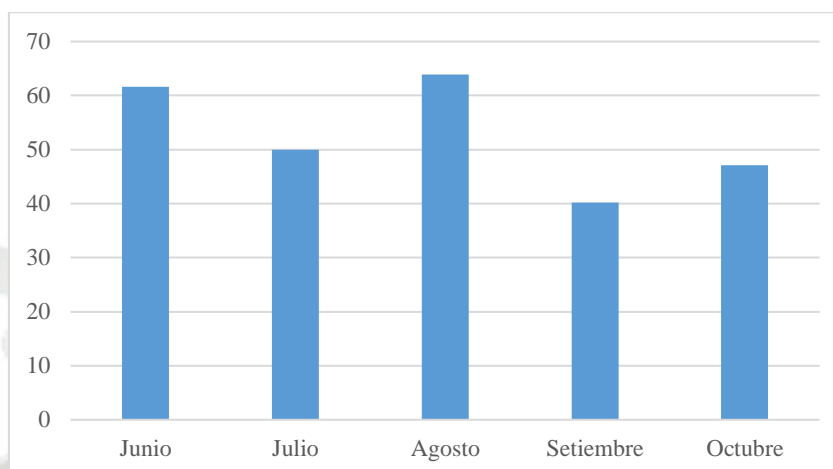
Resultado Total de Horas de Parada por Mes

Mes	Total de Horas
Junio	61.6615
Julio	50.0056
Agosto	63.9345
Setiembre	40.2438
Octubre	47.1538
Promedio	262.9993

Nota. Elaboración propia.

Figura 42

Resultados Total de Horas de Parada por Mes



Nota. Elaboración propia.

En la figura 42 se puede observar que el total de las horas de parada de las palas se ha reducido comparado con la línea base, oscilando aproximadamente entre 40 y 65 horas de parada de equipos por mes.

Tabla 36

Resultado Promedio de Tiempo de Parada por Pala

Mes	Promedio
Junio	0.6370
Julio	0.6638
Agosto	0.8593
Setiembre	0.5776
Octubre	0.7390
Promedio	0.6937

Nota. Elaboración propia.

El tiempo promedio de parada de pala por voladura según la línea base antes de aplicar la estandarización era de 1.0595 horas, como resultados sostenibles se determina que el tiempo promedio de parada por pala es de 0.6937 horas.

Aplicado el trabajo de estandarización se determina una disminución de tiempo de parada por pala en un 34.5%, comprobando la hipótesis propuesta en la investigación, que la implementación de un Sistema de Excelencia para estandarizar el proceso de voladura para disminuye los tiempos de parada de equipos en la empresa minera del sur del Perú.

5.4. Gestión de Tiempo (GT)

El tiempo de demora de disparo de voladura, es un indicador relevante para el proceso, el objetivo es no tener ningún minuto de demora y que la hora planificada se cumpla. Analizando los resultados obtenidos después de la implementación de la estandarización, se consideraron los meses de junio a octubre del 2024.

Tabla 37

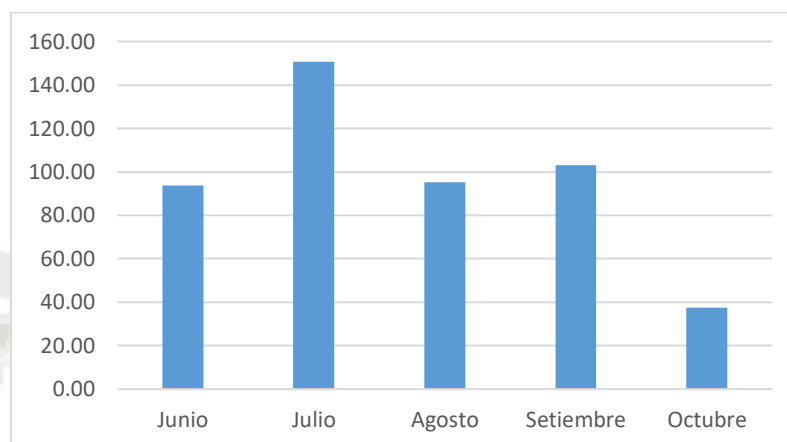
Minutos Totales de Demora por Mes

Mes	Demora Total (Min)
Junio	93.73
Julio	150.71
Agosto	95.17
Setiembre	102.95
Octubre	37.52
Total	480.08

Nota. Elaboración propia.

Figura 43

Minutos Totales de Demora por Mes



Nota. Elaboración propia.

Se identifica que en los meses analizados el tiempo de demora es similar a excepción de Julio que presenta un alza y el mes de octubre que los minutos de demora disminuyeron considerablemente.

Tabla 38

Promedio Minutos de Demora por Mes

Mes	Promedio Demora (Min)
Junio	3.35
Julio	6.55
Agosto	4.14
Setiembre	4.90
Octubre	1.88
Promedio	4.17

Nota. Elaboración propia.

El tiempo promedio de demora, según la distribución central de la data tomada en campo es de 4.17 minutos, antes de la implementación de la estandarización el tiempo de demora era de 21.12 minutos, es decir que se redujeron más de 15 minutos de demora en la ejecución del disparo de la voladura.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS BENEFICIO COSTO

6.1. Beneficios

El problema identificado es la parada prolongada de equipos por voladura, el cual causaba una caída de producción en el envío de mineral a la chancadora, con la implementación de la nueva metodología de trabajo estandarizada, la parada de equipos se redujo en un 34.5% comparando los resultados iniciales el tiempo de paralización de equipos era de 1.06 horas y actualmente el tiempo es de 0.69 horas, así mismo el indicador del proceso respecto a las horas de disparo de voladura cuya demora era de 21.12 minutos aproximadamente fue reducida a 4.17 minutos de demora.

Tabla 39

Comparación de Resultados Antes y Después de la Estandarización

Indicador	Antes de la estandarización	Después de la estandarización	Variación
Tiempo de Parada de Equipos	1.06 horas	0.69 horas	0.37 horas
Demora de realización de disparo de Voladura	21.12 minutos	4.17 minutos	16.95 minutos

Nota. Elaboración propia.

El principal objetivo de la estandarización del despeje de área y reinicio de operaciones en el proceso de voladura es reducir el impacto de la caída de producción, que al existir la paralización de los equipos estos dejan de realizar su principal función que es la extracción de mineral.

6.1.1 Estimación de Producción de Cobre

a. Producción de Material

Habiendo reducido el tiempo de parada de las palas eléctricas, se analiza cuanto es el mineral ganado en promedio con la estandarización y este es comparado con la data considerada como línea base, es decir antes de la implementación de la estandarización.

La Pala 01 y la Pala 02, son equipos medianos, donde su productividad por hora según la data obtenida de la empresa es de 2700 toneladas por hora, mientras que la Pala 03, 04, 05, 06 y 07, son palas eléctricas grandes del mismo modelo cuya productividad por hora es de 3900 toneladas aproximadamente.

Tabla 40

Productividad por Hora por Pala

Equipo	Productividad por Hora (Ton/hr)
Pala 01	2700
Pala 02	2700
Pala 03	3900
Pala 04	3900
Pala 05	3900
Pala 06	3900
Pala 07	3900

Nota. Elaboración propia.

En los meses considerados para a la evaluación de resultados es decir los meses posteriores a la implementación, se tuvieron en promedio 23 voladuras por mes.

Tabla 41

Número de Voladuras por Mes

Mes	Voladuras Ejecutadas
Junio	28
Julio	23
Agosto	23
Setiembre	21
Octubre	20
Promedio	23

Nota. Elaboración propia.

Analizando la data obtenida, que según la línea base antes de la implementación el tiempo promedio de parada por equipos en la voladura es de 1.06 horas de parada por voladura y el tiempo promedio de parada de equipos por voladura obtenido como resultado es de 0.69 horas de parada por voladura, considerando que hubo en promedio 23 voladuras, se procede a identificar cuanto mineral adicional se ha obtenido con la implementación de la estandarización.

Tabla 42

Estimación Producción Adicional de Material post Estandarización

Equipo	Productividad por Hora (Ton/hr)	Línea Base (ton)	Resultados (ton)
Pala 01	2700	65793.98	43078.77
Pala 02	2700	65793.98	43078.77
Pala 03	3900	95035.75	62224.89
Pala 04	3900	95035.75	62224.89
Pala 05	3900	95035.75	62224.89
Pala 06	3900	95035.75	62224.89
Pala 07	3900	95035.75	62224.89
Total		606766.7	397282
Producción Adicional			209484.7

Nota. Elaboración propia.

Según los datos obtenidos, habiendo la reducción de tiempos y analizados con la productividad por hora según la distribución central de los datos, se estima que la producción adicional es de 209,484.7 toneladas de material.

b. Producción de Mineral

Para estimar la producción de cobre post implementación de la estandarización, del material obtenido, que es el que procesa la pala eléctrica, primero se debe de considerar el stripping ratio, el cual indica la cantidad de material que se debe removerse para extraer una unidad de mineral. Según la data de la empresa para los meses a analizar el stripping ratio es de 3.8, es decir se tienen que mover 3.7 toneladas de material para obtener una tonelada de mineral.

$$\text{Stripping Ratio} = \frac{\text{Material}}{\text{Mineral}}$$

$$\text{Mineral} = \frac{209,484.7}{1 + 3.7}$$

$$\text{Mineral} = 44,571 \text{ toneladas}$$

En los meses analizados se produjo 44,571 toneladas de mineral adicional, aplicando la estandarización del despeje de área y reinicio de operaciones.

c. Producción de Cobre Fino

También se debe de considerar la ley, que es el porcentaje de cobre que posee el material, es decir a una ley más alta, mayor cantidad de mineral es encontrado en el material extraído. Además, se debe de considerar la recuperación metalúrgica que es el contenido de cobre que se logra recuperar del mineral en los procesos de planta. Cabe mencionar que estos datos varían diariamente, según la data de la empresa se consideran los datos promedio de los meses de resultados a analizar.

Tabla 43

Estimación de la Producción de Cobre Fino

Mineral	44571.2 ton
Ley de Cobre	0.31%
Recuperación Metalúrgica	81.10%
Cobre Fino	112.06 ton

Nota. Elaboración propia.

Se estima que la producción de cobre fino adicional post estandarización de la voladura por mes es de 112.06 toneladas.

6.1.2. Beneficio Económico

Según la data obtenida previamente, se calculan los ingresos obtenidos mensualmente por la implementación de la estandarización.

a. Costos de Producción

Se consideran dos costos asociados a la producción de por cada tonelada producida, como es el costo de extracción, que es el costo invertido por la extracción de una tonelada de material, el cual es de 2.105 USD/tonelada de Material; el otro costo asociado es el costo de procesamiento el cual es de 7.857 USD/Tonelada de Mineral.

Tabla 44

Costos de Producción

Costos	Costo Unitario (USD/ton)	Toneladas Totales (Ton)	Costo Total (USD)
Costo de Extracción	2.105	209,484.72	\$ 440,965.34
Costo de Procesamiento	7.854	44,571.28	\$ 350,062.34
Total			\$ 791,027.80

Nota. Elaboración propia.

Se determina que el costo de extracción total de la producción adicional obtenida por la estandarización del proceso de despeje de área y reinicio de operaciones es de 440,965.34 USD y el costo de procesamiento total es del 350,062.34 USD.

b. Ingreso Total

Para el cálculo del Ingreso Total se considera 112.05 toneladas obtenidas adicionalmente aplicando la estandarización, en los últimos años el precio del cobre está teniendo un alza considerable, estando actualmente en 8700 USD por tonelada

aproximadamente, analizando el ingreso obtenido se debe de restar los costos de extracción y procesamiento para hallar el beneficio total de la estandarización.

Tabla 45

Ingreso Total por Mes

Cobre Fino (ton/mes)	112.05
Precio (\$/ton)	8700
Ingreso	974891.53
Costos de Extracción (USD/ton)	440965.34
Costo de Procesamiento (USD/ton)	350062.34
Ingreso Total (mes)	183,863.85

Nota. Elaboración propia.

Se determina que el beneficio económico mensual obtenido en la estandarización del despeje de área y reinicio de operaciones, habiendo reducido los tiempos de parada de las palas, es de 183,863.85 USD mensuales.

6.2. Costos

6.2.1 Costos Directos

En los costos directos se considera los costos de mano de obra y costo de materiales que han sido utilizados para la implementación de la estandarización del proceso de despeje de área y reinicio de operaciones implicadas en el proceso de voladura.

a) Costo de mano de obra

Se considera el puesto de Agente de Excelencia Operacional para la Gerencia de Mina, quien es el encargado de optimizar y estandarizar proyectos, con el objetivo de aumentar la generación de valor de Operaciones Mina enviando mayor mineral a la chancadora. El proyecto tuvo un tiempo de análisis, diagnóstico, diseño, implementación y acompañamiento de 3 meses en total, considerando que la remuneración computable es de S/. 4000.00 soles mensuales.

Los beneficios sociales laborales, consideran el pago por vacaciones, gratificación y compensación por tiempo de servicio.

Tabla 46

Beneficios Sociales Laborales

Beneficios Sociales Laborales	Total
Compensación por Tiempo de Servicio	S/. 1,000.00
Pago por Vacaciones	S/. 1,000.00
Gratificación	S/. 2,000.00
Total	S/. 4,000.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 47

Costo de Mano de Obra Directa

Puesto	Cantidad	Remuneración Mensual	Remuneración Total Proyecto
Agente de Excelencia Operacional	3	S/. 4,000.00	S/. 12,000.00
Beneficios Sociales			S/. 4,000.00
Total			S/. 16,000.00

Nota. Elaboración propia.

El costo de mano de obra directa considerando la duración del proyecto fue de S/. 16,000.00 soles, para la estandarización del despeje de área y reinicio de operaciones.

b) Costo de materiales directos

Los costos de materiales directos son costos que se atribuyen directamente al proceso, en el caso de la presente implementación no hubo ningún costo de material directo ya que se usan los mismos insumos que en la metodología no estandarizada.

c) Costos Directos Totales

Los costos directos totales están considerados por el costo de la mano de obra y el material directo.

Tabla 48

Costo Directo Total

Costo Directo	Total
Costo de Mano de Obra Directa	S/.16,000.00
Costo de Material Directo	S/. 0
Total	S/. 16,000.00

Nota. Elaboración propia.

6.2.2 Costos Indirectos

a) Materiales Indirectos

Los materiales indirectos están vinculados al equipo de protección personal y uniforme de trabajo adecuado para el área de trabajo donde se realizó la estandarización del proyecto.

Tabla 49

Materiales Indirectos del Personal

Nº	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Pantalón Térmico	3	S/. 120.00	S/. 360.00
2	Casaca Térmica	2	S/. 180.00	S/. 360.00
3	Camisas	3	S/. 65.00	S/. 195.00
4	Kit EPPS	2	S/. 80.00	S/. 160.00
5	Zapatos de Seguridad	2	S/. 150.00	S/. 600.00
Total				S/. 1675.00

Nota. Elaboración propia.

Adicionalmente para las capacitaciones del personal respecto al trabajado estandarizado, trabajos dinámicos y talleres realizados, se utilizó material de apoyo.

Tabla 50

Materiales Indirectos para Talleres

N°	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Papelotes	25	S/. 1.00	S/. 25.00
2	Hojas Bond x 500	2	S/. 2.00	S/. 40.00
3	Plumones	6	S/. 4.00	S/. 24.00
4	Lapiceros	24	S/. 3.00	S/. 72.00
5	Post it x 500	2	S/. 12.00	S/. 24.00
Total				S/. 185.00

Nota. Elaboración propia.

b) Costo Indirecto Total

Considerando los dos costos indirectos para el uniforme y epps del colaborador, así como el material utilizado para los diversos talleres realizados, se determina el costo indirecto total.

Tabla 51

Costo Indirecto Total

Costo Indirecto Total	Total
Material Indirecto para Personal	S/. 1,675.00
Material Indirecto para Talleres	S/. 185.00
Total	S/. 1,860.00

Nota. Elaboración propia.

6.2.3 Gastos Administrativos

Para la implementación del trabajo estandarizado, se realizaron capacitaciones sobre trabajo estandarizado y la nueva metodología propuesta, así como también los talleres programados para el diseño de la estandarización a los líderes involucrados, adicionalmente los líderes propusieron a miembros de sus equipos vinculados al proceso de voladura de las diferentes guardias, para ser capacitados.

Tabla 52

Gasto Administrativo Capacitaciones

Descripción	Cantidad	Número de Capacitaciones	Horas	Costo H.H	Total
Capacitación a Superintendentes	4	2	2	S/. 83.40	S/. 1,334.40
Capacitación a Jefaturas	12	2	2	S/. 50.00	S/. 2,400.00
Capacitación a Ingenieros	34	2	2	S/. 33.40	S/. 4,542.40
Total					S/. 8,276.80

Nota. Elaboración propia.

Tabla 53

Gasto Administrativo Talleres

Descripción	Cantidad	Número de Talleres	Horas Unitarias	Costo H.H	Total
Talleres a Superintendentes	4	3	1.5	S/. 83.40	S/. 1,501.20
Talleres a Jefaturas	12	3	1.5	S/. 50.00	S/. 2,700.00
Talleres a Ingenieros	34	3	1.5	S/. 33.40	S/. 5,110.20
Total					S/. 9,311.40

Nota. Elaboración propia.

Tabla 54

Gasto Administrativo Total

Gasto Administrativo Total	Total
Gasto Administrativo Capacitaciones	S/. 8,276.80
Gasto Administrativo Talleres	S/. 9,311.40
Total	S/. 17,588.20

Nota. Elaboración propia.

Los costos administrativos totales ascienden a S/17,588.20 soles, considerando los costos administrativos de los talleres y capacitaciones necesarios para el proceso de implementación.

6.2.4 Costos y Gastos Totales

Los costos y gastos totales para la estandarización, están conformados por los costos directos, indirectos y gastos administrativos.

Tabla 55

Costos y Gastos Total

Costo Total	Total
Costos Directos	S/. 16,000.00
Costos Indirectos	S/. 1,860.00
Gasto Administrativos	S/. 17,588.20
Total	S/. 35,448.20

Nota. Elaboración propia.

Según la tabla 55, la cual indica la sumatoria total de los costos totales, estos ascienden a S/. 35,448.20 soles, por la implementación de la estandarización.

6.3. Ratio Beneficio Costo

Este ratio nos permite evaluar la comparar los beneficios económicos sobre los costos implicados en la implementación de la estandarización.

Se determinó que el beneficio económico mensual de la estandarización del despeje de área y reinicio de operaciones es de \$ 183,863.85 USD mensuales, gracias a la reducción del tiempo de parada de las palas. Teniendo un costo total de S/. 35,448.20 soles, considerando un factor de conversión de 3.8 cotizado al día 12 de noviembre de 2024, es decir \$ 9328.48 USD para implementar la estandarización.

$$\text{Beneficio/ Costo} = \frac{\text{Beneficio Económico}}{\text{Costo de Inversión}}$$

$$\text{Beneficio/ Costo} = \frac{183,863.85}{9,328.48}$$

$$\text{Beneficio/ Costo} = 19.71$$

El índice de Beneficio/Costo es mayor a 1, por consecuencia se afirma que la viabilidad de la estandarización es positiva para la empresa.

CONCLUSIONES

Primero: Implementado el sistema de excelencia para la estandarización del despeje de área y reinicio de operaciones vinculadas al proceso de voladura, se redujeron los tiempos de parada de equipos en un 34.5%, es decir de 1.06 horas de parada por voladura a 0.69 horas de parada por voladura.

Segundo: Se definió la situación actual del proceso, mediante el análisis del mismo, según el análisis de resolución de problemas y análisis de causa raíz, se determinó que la principal causa de paralización de la productividad de equipos, es causado por la falta de un método sistemático de estandarización del proceso, en un proceso altamente variable.

Tercera: Identificadas las oportunidades de mejora, se propone implementar un sistema de sistema de excelencia para la estandarización del proceso se utilizó el ciclo PDCA, así como criterios de la metodología Just In Time, SMED y Poka Yoke, aplicados en el despeje de área, así como implementar nuevas prácticas estandarizadas en el reinicio de operaciones

Cuarta.- El tiempo de demora en la ejecución del disparo fue reducido, teniendo inicialmente 21.12 minutos de demora y aplicada la estandarización el nuevo tiempo es de 4.17 minutos de demora para el disparo de voladura, además se redujo el tiempo de parada de equipos en un 34.5%, teniendo una producción adicional de 112.06 toneladas de cobre fino mensualmente.

Quinta.- Realizada la evaluación económica, se obtuvieron resultados beneficiosos teniendo un costo total de \$9,328.47 USD, el beneficio económico mensual de la estandarización del despeje de área y reinicio de operaciones es de \$183,863.85 USD mensuales, gracias a la reducción del tiempo de parada de las palas. Teniendo un B/C de 19.71.

RECOMENDACIONES

Primera.- Se recomienda continuar con sostenibilidad del sistema de excelencia para la estandarización del proceso de despeje de área y reinicio de operaciones en el proceso de voladura, basado en el PDCA, usando criterios asociados al Poka Yoke, Just in Time y SMED, ya que los resultados obtenidos han disminuido el tiempo de paradas de equipos y han reducido el tiempo de demora de ejecución de disparo de la detonación de la voladura.

Segunda.- Es importante seguir aplicando el ciclo PDCA, realizando la planificación, el hacer, el verificar y el actuar dentro del proceso de voladura, para asegurar la mejora continua, garantizando la ejecución de la estandarización del proceso y reduciendo errores operativos.

Tercera.- Se recomienda consolidar la aplicación de la Confirmación del Proceso para asegurar la adherencia a la estandarización, para que en cada desviación encontrada se identifique las causas y se proponga un plan de acción a ser realizado, asegurando la sostenibilidad.

Cuarta.- Es necesario documentar y proporcionar formación continua al personal sobre los procedimientos estandarizados y el uso de las herramientas implementadas, para asegurar su correcta aplicación en todas las áreas.

Quinta.- Se recomienda realizar el trabajo colaborativo, entre diversas áreas involucradas para las sesiones de resolución de problemas identificados en los procesos, así como cumplir con sus actividades asignadas a la hora planeada, realizando talleres de lecciones aprendidas y resolución de problemas para aplicar los conceptos de mejora continua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldea, A. (2021). Influencia del rediseño de los procesos productivos de una empresa de envolturas flexibles basado en la mejora continua. *Industrial Data*, 24(1).
<https://www.redalyc.org/journal/816/81668400001/81668400001.pdf>
- Álvarez, A. (2020). Clasificación de las investigaciones. *Universidad de Lima*, 1-5.
<https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10818/Nota%20Acad%20C3%A9mica%202020%2818.04.2021%29%20-%20Clasificaci%C3%B3n%20de%20Investigaciones.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Arbulú, A., & Carrasco, C. (2021). *Diseño y simulación de perforación y voladura para optimizar la fragmentación de la roca en la unidad de producción Pallasca – Ancash*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/80272>
- Arias, J., & Covinos, M. (2021). *Diseño y metodología de investigación* (Vol. 1). Arequipa.
https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/2260/1/Arias-Covinos-Dise%C3%B1o_y_metodologia_de_la_investigacion.pdf
- Azalgara, R. (2021). Uso del single minute exchange die (SMED) del lean manufacturing para optimizar los tiempos de cambio de medida de una línea de producción del rubro metal mecánica. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/19dfccfd-24d8-4824-a5a2-7125870bd2f1/content>
- Bernuy, G. (2021). *Implementación del ciclo de Deming para la mejora de la productividad del área de mantenimiento y normalización de una empresa contratista, Huaura, 2021*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/120443/Bernuy_SGC-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Camacho, M. (2021). *Propuesta de estandarización de procesos para mejorar la gestión de proyectos de desarrollo comunitario en una empresa minera*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/17618>

Catterpillar. (2024). Palas hidráulicas. https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/hydraulic-mining-shovels/hydraulic-mining-shovels/104540.html

Choque, W., & Hanco, W. (2021). *Determinación de las propiedades del concreto utilizando agregados de voladura del túnel de conducción central hidroeléctrica - San Gaban III, 2021*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/67995>

CODELCO. (2018). Extracción. https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005109/extraccion_media_t_cnico_060119.pdf

CODELCO. (2018). Extracción del cobre. <https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/extraccion.html#:~:text=El%20proceso%20de%20extracci%C3%B3n%20en,para%20la%20recolecti%C3%B3n%20del%20material.>

CODELCO. (2021). Excelencia operacional: los hitos que marcaron el año de la pandemia. <https://www.codelco.com/operaciones>

CODELCO. (s.f.). Codelco. <https://www.codelco.com/nosotros/preguntas-frecuentes/glosario>

Condori, P. (2020). Niveles de investigación. *Academia Org*, 1(1), 1-10. <https://www.aacademica.org/cporfirio/17.pdf>

Cubas, J., & Urcia, S. (2023). *Diseño de mallas de perforación y voladura para reducir costos de operación en Unidad de Producción Cedro-Trujillo*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/131011>

Decreto Supremo N° 024-2016-TR. (2016). Modifican diversos artículos y anexos del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, aprobado por Decreto Supremo N° 024-2016-EM. https://minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/LEGISLACION/2016/RSSO_2017.pdf

Donneys, W. (2022). *Implementación de la metodología SMED para la reducción de los tiempos de cambio de molde en máquina inyectora de preforma, Cali, Colombia*. [Tesis de licenciatura, Institución Universitaria Antonio José Camacho]. Repositorio de la Institución Universitaria Antonio José Camacho. <https://repositorio.uniajc.edu.co/bitstream/handle/uniajc/1196/Articulo%20MET%20SMED.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Estela, J., & Estela, K. (2020). *Voladura controlada para reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/54417/B_Estela_YJ-Estela_YK-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fernandez, J., & Luna, W. (2020). *Aplicación del just in time para mejorar la gestión de inventarios en el almacén de la empresa Hayduk, Chimbote-2020*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/67711/Fernandez_AJJ-Luna_AWE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Gonzales, D., & Idrovo, D. (2022). *Implementación de la metodología SMED y detección de cuellos de botella del proceso de reenvasado para la mejora de la productividad de una empresa comercializadora de productos agroindustriales*. [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22789/1/UPS-GT003810.pdf>
- Gonzalez, D., & Carro, R. (s.f.). Administración de la calidad total. Recuperado de *Administración de las Operaciones*: https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1614/1/09_administracion_calidad.pdf
- Granda, E. (2020). *Estandarización e integración de procesos y gestión para la optimización de operaciones en la Unidad Operativa Arcata – Cia. Minera Ares*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/317eba84-516f-4a96-aa95-cf8703910320/content>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México: McGraw Hill Education.
- Huntsman, J. (2024). *El modelo Shingo*. Estados Unidos: Institute Shingo. Recuperado el 21 de 06 de 2024, de <https://www.sapartners.com/wp-content/uploads/2020/04/Shingo-Model-booklet-v14.3.pdf>
- Komatsu. (2024). Tecnología, confiabilidad y productividad. Recuperado de *Palas Hidráulicas*: <https://www.komatsulatinoamerica.com/chile/productos/pc8000-6/>
- Machero, A., & Salazar, S. (2021). *Análisis de la longitud de perforación para incrementar la productividad en la galería 700 SW; unidad minera Pallasca*. [Tesis de licenciatura,

- Universidad César Vallejo]. Repositorio de Universidad César Vallejo.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/113329>
- Manyari, E. (2020). *Propuesta de implementación de la metodología SMED en el área de inyección de accesorios de PVC, para incrementar la disponibilidad de los equipos de la empresa Mexichem Perú, El Agustino-2019*. [Tesis de licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio de Universidad Señor de Sipán.
<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/7768/Manyari%20Taipe%2C%20Elvis%20Ovidio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moncayo, H. (2022). Optimización del proceso de perforación y voladura para mejorar la granulometría del material volado en la concesión minera Cerro Grande, Durán. [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio Escuela Superior Politécnica del Litoral. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/f9d16cd4-8075-490c-8e38-0c0c14e271c2/T-70587%20MONCAYO%20BERMUDEZ.pdf>
- Morales, A. (2023). *Diseño de malla de perforación para mejorar la fragmentación de la roca del nivel 2995 – galería NE01 – Unidad de Producción Santa María*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/122971/Morales_SAA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Otto, T., & Lindeque, G. (2021). Improving productivity at an open-pit mine through enhanced short-term mine planning. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall*, 121(11).
https://scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532021001100007
- Qiang, S., Chengfang, S., Zhongya, W., & Yunb, W. (2022). Case study: Mechanism and effect analysis of presplitting blasting in shallow extra-thick coal seam. *PAN Study*, 67(1).
<https://bibliotekanauki.pl/articles/2203332.pdf>

Quispe, L., & Yupanqui, K. (2023). *Aplicación del diseño de perforación y voladura de la galería principal 9080-SW, para aumentar el avance lineal, Minera Aurífera Retamas S. A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental.

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13095/3/IV_FIN_110_TE_Quispe_Yupanqui_2023.pdf

Reyna, P. (2021). *Análisis e importancia del diagrama de flujo en el desarrollo de programas informáticos.* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias e Informática].

Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias e Informática.
<https://repositorio.upci.edu.pe/bitstream/handle/upci/510/Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional%20-%20Reyna%20Vilchez%20Paul.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Robles, L. (2022). *Implementación del ciclo Deming para mejorar la productividad en la empresa A & L Cargueros Sac, Trujillo - 2022.* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].

Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31177/Robles%20Bazan%20Leiter%20Abdias.pdf?sequence=1>

Saavedra, A. (2024). *Estandarización del proceso de despacho de holantao para incrementar la productividad en la Empresa Narihuala Agro SAC, 2023.* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].

Repositorio de la Universidad César Vallejo.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/134802/Saavedra_PAH-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Salazar, J., Mora, N., Romero, W., & Ollague, J. (2022). *Diagnóstico de la aplicación del ciclo PHVA según la ISO 9001:2015 en la empresa INCARPALM.* *Digital Publisher*, 5(6).

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7897683.pdf>

- Sellers, E., & Salmi, E. (2020). Breaking new ground: challenges and opportunities for maximising value from underground blasting - Proceedings of the Second International Conference on Underground Mining Technology. *Proceedings of the Second International Conference on Underground Mining Technology*, 1(1). https://www.researchgate.net/publication/345559674_Breaking_new_ground_challenges_and_opportunities_for_maximising_value_from_underground_blasting_-_Proceedings_of_the_Second_International_Conference_on_Underground_Mining_Technology
- Sepúlveda, G. (2022). *Importancia del monitoreo de variables ambientales en un ape piloto, como medida de adaptación al cambio climático*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Concepción]. Repositorio de la Universidad de Concepción. <http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/9967/1/Gonzalo%20Sep%C3%BAlveda%20Tesis.Image.Marked.pdf>
- Universidad Politécnica de Madrid. (2013). *Lean manufacturing: conceptos, técnicas e implantación*. https://fabricacion.industriales.upm.es/wp-content/uploads/2022/04/EOI_LeanManufacturing_2013.pdf
- Valerio, N. (2023). Estandarización de seccionamiento de 8 x 9 con 8 de longitud para reducir costos operativos en la empresa MINCOTRALL EIRL - MARSA. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3378/1/T026_70811634_T.pdf
- Vergara, A. (2014). *Manual de tronadura - ENAEX*. <https://es.slideshare.net/slideshow/manual-de-tronadura-enaex/31828552>
- Wang, C. (2021). Aplicación de la metodología Just-In-Time en el proceso de montaje del sistema de bombeo para aumentar la productividad en la empresa Iflutech S.A.C. [Tesis

de licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio de la Universidad Señor de Sipán.

<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/7862/Wang%20Bacilio%2c%20Cesar%20Agusto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Xiaohua, D., Xin, L., Zhongchen, A., HaoQin, Z., Kexin, H., Shuangshuang, X., ... & Chun, Z. (2023). Investigación sobre el mecanismo de voladura y el efecto de voladura de medios acuosos en minas de carbón a cielo abierto. *Informes Científicos*, 1(1).
<https://www.nature.com/articles/s41598-023-46449-6>

Yaranga, R. (2021). *Análisis de la fragmentación de mineral producido por la voladura y su influencia en el rendimiento de equipos de carguío en una mina a tajo abierto, 2021*. [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental.

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10533/2/IV_FIN_110_T_E_Yaranga_Toribio_2021.pdf

Zea, Y., & Noa, B. (2021). *Optimización de la granulometría en función de la voladura controlada en Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal, Arequipa 2020*. [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental.

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10352/1/IV_FIN_110_T_E_Zea_Noa_2021.pdf

Zondo, A. (2021). Evaluación de la eficacia de un sistema de seguridad y salud en el trabajo en una organización de montaje de automóviles seleccionada en Sudáfrica. *S. Afr. j. economía administrar ciencia*, 21(1). <http://dx.doi.org/10.4102/sajems.v24i1.3553>

ANEXOS

Anexo 1

Validación Juicio de Expertos

FICHA DE JUICIO DE EXPERTOS

1. Datos del Experto:

Nombre y Apellidos: Elvis Jhordan Abad Miranda

DNI: 47112118

Profesión: Ingeniero Industrial

Grado: Magister en Administración de Empresas

Cargo: Supervisor de Excelencia Operacional en Compañía Minera

2. Instrucciones:

La presente ficha es para la validación de expertos de los instrumentos contemplados en la tesis "Implementación de un sistema de excelencia basado en el modelo Shingo para la estandarización del proceso de voladura de una empresa minera del sur del Perú, 2024"

A continuación se describen los criterios de validación considerados:

- Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado, variables e indicadores.
- Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.
- Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Coloque en cada casilla la ítem correspondiente una valoración del 1 al 4, considerando:

1=Deficiente 2= Mejorar 3= Bueno 4= Muy Bueno

En la casilla de observaciones puede sugerir el cambio o correspondencia.

3. Evaluación

Título: Implementación de un sistema de excelencia basado en el modelo Shingo para la estandarización del proceso de voladura de una empresa minera del sur del Perú, 2024

N.º Ítem	DIMENSIONES / Ítems	Pertinencia ¹	Relevancia ²	Claridad ³	Sugerencias
Variable 1: Estandarización del proceso de Voladura					
Dimensión 1: Adherencia al Plan					
1.1	Se conoce las ubicaciones actuales de los equipos en la zona de influencia	3	3	4	
1.2	Se determinó las horas de parada y reinicio de operaciones para cada equipo	4	4	4	
1.3	Se determinó la ubicación final de los equipos	4	4	4	
1.4	Se determinaron las actividades internas y externas, con responsables y hora de entrega	4	4	4	
1.5	Se determinaron los recursos utilizados para el despeje de área	4	4	3	
1.6	Se realizó la asignación de camionetas para salida e ingreso del personal	3	4	3	

Dimensión 2: Confirmación del Proceso				
2.1	Se ejecutaron las actividades previas a la hora acordada	4	4	4
2.2	Los equipos se movilizaron hacia su ubicación estratégica, sin movimientos innecesarios	3	4	3
2.3	Las camionetas asignadas recogieron a los operadores asignados	3	4	3
2.4	Se revisó que los equipos se movilizaron a sus ubicaciones estratégicas según ubicación GPS	4	4	4
2.5	Se realizó la conciliación de las horas de parada de equipos reales y las horas de parada planificadas	4	4	4
2.6	Los camiones realizaron el proceso de inspección y limpieza durante el despeje del área	3	4	3
2.7	Las actividades fuera de los 500 mtrs se llevaron a cabo con normalidad	4	4	4
2.8	Los operadores de equipos y camiones ingresaron al área según prioridad	3	4	4
2.9	Se ejecutaron los planes de acciones de los ítem calificados como "NC" en el tiempo establecido	3	4	3
Variable 2: Tiempo de Parada de Operaciones				
Dimensión 3: Tiempo de Parada de Pala por Voladura				
3.1	Se realizó la parada de equipos a la hora planificada	4	4	4
3.2	Los equipos comenzaron a operar según la hora planificada	4	4	4
Dimensión 4: Gestión del Tiempo				
4.1	El área estuvo despejada minutos antes de la voladura	3	4	4
4.2	La hora de disparo se realizó a las 6:30 am, sin demoras	4	4	4



Elvis Jhordan Abad Miranda

D.N. I: 47112118

Observaciones (precisar si hay suficiencia): **EXISTE SUFICIENCIA**

Opinión de aplicabilidad:

Aplicable

Aplicable después de corregir

No aplicable

Apellidos y nombres del juez validador: Elvis Jhordan Abad Miranda

DNI: 47112118

Ocupación: Ingeniero Industrial

Grado: Magister en Administración de Empresas

Cargo: Supervisor de Excelencia Operacional en Minería

1Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

2Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

3Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión



Elvis Jhordan Abad Miranda

D.N. I: 47112118

Ficha Juicio de Expertos

- I. Datos del Experto:**
Nombre y Apellido: Adrian Alvitres Bazan
Dni: 19323794
Profesión: Ingeniero de Sistemas
Master: Administración y Negocios
Cargo: Superintendente de Transformación

- II. Instrucciones:**
 La presente ficha es para la validación por expertos del instrumento “Confirmación del Proceso” contemplado en el trabajo de investigación titulado: “Implementación de un sistema de excelencia para la estandarización del proceso de voladura de una mina del sur del Perú, 2024”

Considerar los siguientes criterios de evaluación:

1. Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado, variables e indicadores.
2. Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.
3. Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Coloque en cada casilla al ítem una valoración del 1 al 4, considerando:

1= Deficiente 2=Mejorar 3=Bueno 4=Muy Bueno

Así como también se puede colocar sugerencias de cambio en la casilla de Observaciones

III. Evaluación

N.º Item	DIMENSIONES / ítems	Pertinencia1	Relevancia2	Claridad3	Sugerencias
Variable 1: Estandarización del proceso de Voladura					
Dimensión 1: Abderencia al Plan					
1.1	Se conoce las ubicaciones actuales de los equipos en la zona de influencia	4	3	4	
1.2	Se determino las horas de parada y reinicio de operaciones para cada equipo equipo	4	3	4	
1.3	Se determino la ubicación final de los equipos	3	4	3	
1.4	Se determinaron las actividades internas y externas, con responsables y hora de entrega	4	4	3	
1.5	Se determinaron los recursos utilizados para el despeje de area	3	3	3	
1.6	Se realizo la asignacion de camionetas para salida e ingreso del personal	4	3	4	

Dimensión 2: Confirmación del Proceso				
2.1	Se ejecutaron las actividades previas a la hora acordada	3	3	3
2.2	Los equipos se movilizaron hacia su ubicación estratégica, sin movimientos innecesarios	3	4	3
2.3	Las camionetas asignadas recogieron a los operadores asignados	3	4	3
2.4	Se revisó que los equipos se movilizaron a sus ubicaciones estratégicas según ubicación GPS	4	3	4
2.5	Se realizó la conciliación de las horas de parada de equipos reales y las horas de parada planificadas	4	4	4
2.6	Los camiones realizaron el proceso de inspección y limpieza durante el despeje del área	3	4	3
2.7	Las actividades fuera de los 500 mtrs se llevaron a cabo con normalidad	3	4	3
2.8	Los operadores de equipos y camiones ingresaron al área según prioridad	4	4	3
2.9	Se ejecutaron los planes de acciones de los ítem calificados como "NC" en el tiempo establecido	3	4	3
Variable 2: Tiempo de Parada de Operaciones				
Dimensión 3: Tiempo de Parada de Pala por Voladura				
3.1	Se realizó la parada de equipos a la hora planificada	4	4	4
3.2	Los equipos comenzaron a operar según la hora planificada	4	4	4
Dimensión 4: Gestión del Tiempo				
4.1	El área estuvo despejada minutos antes de la voladura	4	3	4
4.2	La hora de disparo se realizó a las 6:30 am, sin demoras	4	4	3

Conclusión: EXISTE SUFICIENCIA

Opinión de aplicabilidad:

Aplicable



Aplicable después de corregir



No aplicable



Ing. Adrian Alvitres Bazan

Dni 19323794

Ficha Juicio de Expertos

I. Datos del Experto:

Nombre y Apellido: Guillermo Miranda Moscol

Dni: 43437740

Profesión: Ingeniero Industrial

Master: Magister en Administración de Empresas

Cargo: Superintendente de Excelencia Operacional

II. Instrucciones:

La presente ficha es para la validación por expertos del instrumento “Confirmación del Proceso” contemplado en el trabajo de investigación titulado: “Implementación de un sistema de excelencia para la estandarización del proceso de voladura de una mina del sur del Perú, 2024”

Considerar los siguientes criterios de evaluación:

1. Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado, variables e indicadores.
2. Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.
3. Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Coloque en cada casilla al ítem una valoración del 1 al 4, considerando:

1= Deficiente 2=Mejorar 3=Bueno 4=Muy Bueno

Así como también se puede colocar sugerencias de cambio en la casilla de Observaciones

III. Evaluación

N° Ítem	DIMENSIONES / ítems	Pertinencial	Relevancia ²	Claridad ³	Sugerencias
Variable 1: Estandarización del proceso de Voladura					
Dimensión 1: Abderencia al Plan					
1.1	Se conoce las ubicaciones actuales de los equipos en la zona de influencia	3	4	4	
1.2	Se determino las horas de parada y reinicio de operaciones para cada equipo equipo	3	3	3	
1.3	Se determino la ubicación final de los equipos	3	4	4	
1.4	Se determinaron las actividades internas y externas, con responsables y hora de entrega	3	4	3	
1.5	Se determinaron los recursos utilizados para el despeje de area	3	4	3	
1.6	Se realizo la asignacion de camionetas para salida e ingreso del personal	3	4	3	

Dimensión 2: Confirmación del Proceso				
2.1	Se ejecutaron las actividades previas a la hora acordada	3	4	4
2.2	Los equipos se movilizaron hacia su ubicación estratégica, sin movimientos innecesarios	3	4	3
2.3	Las camionetas asignadas recogieron a los operadores asignados	3	4	4
2.4	Se reviso que los equipos se movilizaron a sus ubicaciones estratégicas según ubicación GPS	3	3	3
2.5	Se realizo la conciliación de las horas de parada de equipos reales y las horas de parada planificadas	4	4	4
2.6	Los camiones realizaron el proceso de inspeccion y limpieza durante el despeje del area	3	4	3
2.7	Las actividades fuera de los 500 mtrs se llevaron a cabo con normalidad	4	4	3
2.8	Los operadores de equipos y camiones ingresaron al area según prioridad	4	4	3
2.9	Se ejecutaron los planes de acciones de los item calificados como "NC" en el tiempo establecido	4	4	3
Variable 2: Tiempo de Parada de Operaciones				
Dimensión 3: Tiempo de Parada de Pala por Voladura				
3.1	Se realizo la parada de equipos a la hora planificada	4	4	4
3.2	Los equipos comenzaron a operar según la hora planificada	4	4	4
Dimensión 4: Gestion del Tiempo				
4.1	El area estuvo despejada minutos antes de la voladura	4	4	3
4.2	La hora de disparo se realizo a las 6:30 am, sin demoras	4	3	4

Conclusión: EXISTE SUFICIENCIA

Opinión de aplicabilidad:

Aplicable

Aplicable despues de corregir

No aplicable


Guillermo Miranda Moscol

Dni N° 43437740

Constancia de Validación

Yo, Guillermo Miranda Moscol, de profesión Ingeniero Industrial y Magister en Administración de Empresas, especializado en Estrategia, Excelencia Operacional y Transformación Cultural en Minería, actualmente liderando la Superintendencia de Excelencia Operacional en Minería.

Por la presente, hago constar que el instrumento "Confirmación del Proceso" referente al despeje de área y reinicio de operaciones, en el proceso de voladura, presentado en el trabajo de investigación titulado: "Implementación de un sistema de excelencia para la estandarización del proceso de voladura de una mina del sur del Perú, 2024" han sido revisados por mi persona.

Respecto a revisión del instrumento, se valida lo siguiente:

	Deficiente	Aceptable	Buena	Muy Buena
Pertinencia			✓	
Relevancia				✓
Claridad				✓

Según lo expuesto, afirmo que existe **Suficiencia** en el instrumento para ser aplicado.



Guillermo Miranda Moscol

Dni N° 43437740