

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LEAN SIX SIGMA PARA
MEJORAR LA CAPACIDAD DE PROCESO DE AVANCE POR DISPARO
EN LAS OPERACIONES DE LA EMPRESA CONTRATISTA IESA SA –
UNIDAD OPERATIVA ANIMON**

PRESENTADO POR:

Bach.: AYFA VIOLETA CONTRERAS MARCILLA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS.**

ASESOR:

Ing.: MGT. EDMUNDO ALARCON CACERES

CUSCO – PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LEAN SIX SIGMA PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE PROCESO DE AVANCE POR DISPARO EN LAS OPERACIONES DE LA EMPRESA CONTRATISTA JESA S.A - UNIDAD OPERATIVA AVIMON

Presentado por: AYFA VIDLETA CONTRERAS MARCILLA DNI N° 71918831

presentado por: DNI N°:

Para optar el título profesional/grado académico de
INGENIERO DE MINAS

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 05 de AGOSTO de 2025

[Firma]
Firma

Post firma Ing.° Edmundo Alvarado Cárdenas

Nro. de DNI 23839183

ORCID del Asesor 0000 - 0002 - 6890 - 400 1

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259-478662314

AYFA CONTRERAS

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE PROCESO DE AVANCE PO...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:478662314

Fecha de entrega

5 ago 2025, 4:16 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

5 ago 2025, 4:31 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS AYFA VIOLETA CONTRERAS MARCILLA_TESIS FINAL.docx

Tamaño de archivo

18.9 MB

172 Páginas

32.754 Palabras

175.381 Caracteres

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
2969 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

Con todo el cariño y con una profunda gratitud dedico esta tesis al Señor de Qoyllurit'i y a la Virgen del Rosario, cuya guía y protección han iluminado mi camino en cada desafío y logro, a mis padres Víctor Raúl Contreras Huachaca y Violeta Marcilla Patiño; quienes me impulsaron a conseguir mis objetivos y por siempre brindarme su apoyo incondicional.

A mis hermanos, mis maestros, amigos y compañeros de trabajo por su gran apoyo.

Agradecimiento

Agradezco a mis amados padres, Víctor Raúl Contreras Huachaca y Violeta Marcilla Patiño, por su amor incondicional, su esfuerzo y sacrificio. A mis queridos hermanos, Iveth, Mildre, Aimee y Rubén, por su constante apoyo, motivación y por insistirme siempre en cumplir mis metas.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por brindarme una educación de excelencia y las herramientas necesarias para mi formación profesional. Sus enseñanzas han sido la base de mi crecimiento académico y profesional.

Expreso mi especial agradecimiento al Ing. Edmundo Alarcón Cáceres, por su acertada dirección, apoyo incondicional y valiosas sugerencias, que fueron fundamentales para la culminación de esta tesis. Su guía ha sido un pilar en este proceso.

A mis compañeros de trabajo de las diferentes áreas, quienes con su colaboración y respaldo hicieron posible la realización de este estudio.

A todos ustedes, mi más sincero reconocimiento y gratitud.

Resumen

El presente estudio de investigación, titulado “Implementación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar la capacidad de proceso de avance por disparo en las operaciones de la Empresa Contratista Minera IESA S.A. – Unidad Operativa Animón” aborda la problemática de la mejora del proceso de avance por disparo, una actividad crítica en la eficiencia operativa de la empresa contratista. La principal motivación del estudio radica en la necesidad de reducir las penalidades asociadas a la valorización mensual, derivadas de desviaciones en el rendimiento del proceso de avance. El fin esencial de esta investigación es potenciar la eficiencia del proceso de avance por disparo, implementando la metodología Lean Six Sigma, con el fin de minimizar variabilidades en el desempeño operativo y garantizar un cumplimiento efectivo de los estándares de producción.

Desde el punto de vista metodológico el estudio se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo, con un diseño aplicado o tecnológico, dado que busca implementar mejoras prácticas en un entorno real. A nivel temporal, se clasifica como un estudio longitudinal, dado que analiza el comportamiento del proceso a lo largo del tiempo, mediante la recolección sistemática de datos.

Los resultados obtenidos tras la aplicación de Lean Six Sigma fueron significativos. Se logró una mejora en la capacidad del proceso de avance por disparo, reflejada en un incremento del índice Ppk, el cual pasó de -0.06 a 4.23, evidenciando una mejora sustancial en la estabilidad y desempeño del proceso. Asimismo, la incidencia de avances inferiores a 3.5 metros se redujo drásticamente, pasando del 48.32% al 0%, lo que permitió eliminar las penalidades en la valorización mensual dentro de ECM IESA S.A. – Unidad Operativa Animón.

Palabras clave: Lean, Six Sigma, capacidad de proceso, avance por disparo, calidad, minería subterránea.

Abstract

This research study, titled “Implementation of the Lean Six Sigma Methodology to Improve the Process Capability of Drill-and-Blast Advancement in the Operations of the Mining Contractor Company IESA S.A. – Animón Operating Unit,” addresses the issue of improving the drill-and-blast advancement process, a critical activity for the operational efficiency of the contractor company.

The main motivation behind this study lies in the need to reduce penalties associated with the monthly valuation, which result from deviations in the performance of the advancement process. The primary objective of this research is to enhance the efficiency of the drill-and-blast advancement process through the implementation of the Lean Six Sigma methodology, aiming to minimize variability in operational performance and ensure effective compliance with production standards.

From a methodological standpoint, the study is framed within a quantitative approach, with an applied or technological design, as it seeks to implement practical improvements in a real operational environment. In terms of time scope, it is classified as a longitudinal study, since it analyzes the behavior of the process over time through systematic data collection.

The results obtained from the implementation of Lean Six Sigma were significant. There was a notable improvement in the process capability of drill-and-blast advancement, as reflected in the increase of the Ppk index, which rose from -0.06 to 4.23—demonstrating a substantial enhancement in the stability and performance of the process. Furthermore, the incidence of advancements below 3.5 meters was drastically reduced, dropping from 48.32% to 0%, which eliminated the penalties in the monthly valuation within ECM IESA S.A. – Animón Operating Unit.

Keywords: Lean, Six Sigma, process capability, drill-and-blast advancement, quality, underground mining.

Índice

Dedicatoria	II
Agradecimiento	III
Resumen	IV
Abstract	V
Índice	VI
Introducción	1
Capítulo I: Problemática de la Investigación	2
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2 Formulación del Problema	3
1.2.1. Problema General	3
1.2.2. Problemas Específicos	3
1.3. Objetivos de la Investigación	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación, importancia y delimitación de la investigación.....	4
1.4.1. Justificación de la investigación.	4
1.4.2 Importancia de la investigación	4
1.4.3. Delimitación de la investigación	4
1.5. Hipótesis.....	5
1.5.1. Hipótesis General.	5
1.5.2. Hipótesis Específicas.	5
1.6. Variables y su Operacionalización	6
Capítulo II: Marco teórico de la Investigación	7
2.1. Antecedentes del problema	7
2.1.1. Antecedentes internacionales	7
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.1.3. Antecedentes locales.....	10
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Filosofía Lean	10
2.2.2. Six Sigma.....	11
2.2.3. Metodología DMAIC	12
2.2.4. Lean Six Sigma.....	12

2.2.5. Sistema de gestión de calidad.....	13
2.2.6. Proceso.....	13
2.2.7. Capacidad de un proceso	13
2.2.8. Índice de la capacidad potencial del proceso (CP).....	13
2.2.9. Índice Ppk.....	14
2.2.10. Índice Z.....	14
2.2.11. Índice DPU (defectos por unidad).....	14
2.2.12. Diagrama de pareto.....	14
2.2.13. Diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto).....	14
2.2.14. Lluvia de ideas.....	14
2.2.15. Estabilidad de un proceso.....	15
2.2.16. Mapa de procesos	15
2.2.17. Ficha de procesos.....	17
2.2.18. Contexto de la organización	17
2.2.19. Partes interesadas.....	17
2.2.20. Satisfacción del cliente	17
2.2.21. Determinación de indicadores	18
2.2.22. Ficha de indicadores	19
2.2.23. Límites de tolerancia o especificaciones	20
2.2.24. Minitab.....	20
2.2.25. Mejora continua	21
2.2.26. Estandarización.....	21
2.2.27. Programa de desarrollo y explotación	21
2.2.28. Valorización.....	21
Capítulo III: Metodología de la Investigación	22
3.1. Método de Investigación	22
3.2. Tipo de Investigación	23
3.3. Nivel de investigación	23
3.4. Diseño de investigación.....	23
3.5. Población y muestra.....	23
3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos e Información	23
Capítulo IV: Análisis de la Investigación	25
4.1. Implementación de la metodología Lean Six Sigma.....	25

4.1.1 Etapa Definir.....	26
4.1.2. Fase Medir	43
4.1.3. Fase Analizar	66
4.1.4. Fase Mejorar	87
4.1.5. Fase Controlar.....	103
Capítulo V: Resultados y discusiones	110
5.1. Resultados de la Investigación	110
5.1.1. Resultados post implementación de la metodología.....	111
5.1.2. Encuesta de satisfacción al cliente.....	112
5.2. Discusión de la Investigación.....	114
Conclusiones	117
Recomendaciones	118
Referencias bibliográficas.....	119
Anexos	122
Anexo 1: Marco contextual	123
Anexo 2: Matriz de Consistencia	157
Anexo 3 Formato de verificación y cumplimiento de estándares y procedimiento de perforación de frentes con jumbo electrohidráulico.....	158
Anexo 4 Formato de verificación y cumplimiento de estándares y procedimientos de carguío	159
Anexo 5 Formato de informe de investigación de fallas en perforación y voladura	160

Índice de figuras

Figura 1 Principios de la filosofía Lean.....	11
Figura 2 Etapas de la metodología Six Sigma (DMAIC).....	12
Figura 3 Mapa de procesos IESA	16
Figura 4 Indicadores de condición.....	20
Figura 5 Procesos por niveles	29
Figura 6 Gráfico de valorización mensual - metros lineales.....	32
Figura 7 Flujograma de definición del proyecto de mejora.....	33
Figura 8 Diagrama CTQ	35
Figura 9 Diagrama de actores clave del proyecto.....	37
Figura 10 Project Chapter	42
Figura 11 Diagrama de Pareto - Nro. disparos	48
Figura 12 Impacto Económico.....	50
Figura 13 Avance deficiente por disparo.....	53
Figura 14 Mapa de procesos	60
Figura 15 Capacidad de proceso del Nro. disparos/ día (LB).....	61
Figura 16 Capacidad de proceso de Avance por disparo (LB)	64
Figura 17 Fase de analizar – variables de entrada	67
Figura 18 Análisis de causas de equipo inoperativo.....	69
Figura 19 Análisis de causa de falta de personal	71
Figura 20 Gráfico de efectos principales para avance	72
Figura 21 Gráfica de línea ajustada	73
Figura 22 Gráfica de efectos principales para avance	74
Figura 23 Gráfica de línea ajustada	75
Figura 24 Gráfica de efectos principales para avance	77
Figura 25 Gráfica de línea ajustada	79
Figura 26 Gráfica de intervalos de avance vs. Experiencia operador.....	80
Figura 27 Gráfica de línea ajustada	81
Figura 28 Gráfica de intervalos de avance.....	82
Figura 29 Gráfica de línea ajustada	83
Figura 30 Grafica de optimización	88
Figura 31 Flujograma de actividades a detalle	90
Figura 32 Reunión del comité de excelencia operativa	91
Figura 33 Capacitación al personal operativo.....	92
Figura 34 Supervisión en campo de los equipos de perforación	93
Figura 35 Verificación de pintado de malla en campo	94
Figura 36 Verificación de pintado en campo.....	95
Figura 37 Reconocimiento a los colaboradoresconocimiento a los colaboradores	96
Figura 38 Informe de capacidad del proceso de avance	97
Figura 39 Grafica de caja de avance	102
Figura 40 Procedimiento de reunión de excelencia operativa	105
Figura 41 Flujograma del proceso de investigación por disparo deficiente	108

Figura 42 Dashboard de operaciones	109
Figura 43 Ubicación de la mina	124
Figura 44 Rutas Lima - Chungar	125
Figura 45 Afloramiento de capas rojas, margas y conglomerados	128
Figura 46 Columna estratigráfica.....	129
Figura 47 Mineralización	130
Figura 48 Formación Casapalca.....	132
Figura 49 Formación Huayllay	133
Figura 50 Clasificación según RMR.....	138
Figura 51 Sección longitudinal mirando de Sur a Norte.....	138
Figura 52 Minado corte y relleno ascendente con breasting de Mina Animon	139
Figura 53 Método de explotación	140
Figura 54 Estándar de sostenimiento tipo V	153
Figura 55 Estándar de sostenimiento tipo IV A.....	154
Figura 56 Estándar de sostenimiento tipo III B	155

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	6
Tabla 2 Criterios de evaluación de satisfacción del cliente	18
Tabla 3 Estructuras de trabajo IESA.....	27
Tabla 4 Situación actual del desempeño	30
Tabla 5 Situación actual - Nro. de disparos	31
Tabla 6 Voz del cliente	34
Tabla 7 Miembros del proyecto	36
Tabla 8 Diagrama SIPOC	39
Tabla 9 Especificación de métodos y sistemas de medición.....	44
Tabla 10 Impacto económico de las pérdidas de disparo.....	49
Tabla 11 Análisis AMEF del proceso	56
Tabla 12 Promedio de avance y disparos ejecutados por jumbo mes 1	77
Tabla 13 Promedio de avance y disparos ejecutados por jumbo mes 2	78
Tabla 14 Análisis de variables	84
Tabla 15 Datos de avance – Post etapa Mejorar	98
Tabla 16 Cuadro de avance del primer semestre	112
Tabla 17 Resultados de encuesta de satisfacción al cliente 2022 y 2023	113
Tabla 18 Accesos a mina	123
Tabla 19 Equipos de perforación IESA	144
Tabla 20 Flota de scooptram.....	148
Tabla 21 Flota de volquete - IESA.....	149
Tabla 22 Recomendaciones de desate.....	150
Tabla 23 Flota de desatador de roca.....	150
Tabla 24 Flota de manipulador telescópico	156

Introducción

La presente investigación tiene el fin de mitigar la variabilidad en los metros de avance por disparo en las labores de la empresa IESA S.A., mediante la aplicación de Lean Six Sigma y el ciclo de mejora continua DMAIC. A través de esta implementación, se busca optimizar el indicador de capacidad de proceso del avance por disparo, asegurando un desempeño más eficiente y estandarizado en las operaciones mineras.

La relevancia del estudio radica en su contribución al progreso de la satisfacción del cliente, mediante el establecimiento de una metodología sistemática que permita estandarizar y promover la mejora continua en los procesos de perforación y voladura. Esto no solo impacta en la eficiencia operativa, sino también en la reducción de variabilidad y costos asociados, garantizando una mayor previsibilidad y control sobre los resultados obtenidos, en cuanto a la estructura del documento, este se organiza en cuatro capítulos:

En el capítulo 1 se define el problema de estudio, los objetivos de la implementación de Lean Six Sigma y la operacionalización de variables.

En el capítulo 2 se presenta las bases teóricas y conceptuales relevantes para la investigación, así como el marco contextual que describe las características y particularidades de la unidad minera en estudio.

En el capítulo 3 se detalla el diseño metodológico, especificando el método, tipo y nivel de investigación, además de la delimitación de la población y la muestra.

En el capítulo 4 se desarrolla la aplicación de las fases del ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), utilizando herramientas estadísticas y el software Minitab para la implementación. Asimismo, se evidencian los productos obtenidos a partir del análisis económico y la encuesta de satisfacción.

Finalmente se formula las conclusiones en función de los objetivos establecidos y se presentan las recomendaciones derivadas de los hallazgos obtenidos, la bibliografía consultada y los anexos relevantes que respaldan el desarrollo del estudio.

Capítulo I:

Problemática de la Investigación

1.1. Planteamiento del Problema

La empresa contratista especializada Ingenieros Ejecutores Sociedad Anónima IESA SA, brinda servicios a la Compañía Minera Chungar – Volcan con la cual tiene compromisos contractuales en referencia a los avances de los servicios en el cual establece que la empresa contratista deberá presentar mensualmente una valorización de avance de acuerdo al Programa de avance y explotación el cual deberá contener los lineamientos generales e indicaciones técnicas de los servicios, así como el plazo de ejecución y avance de los mismos; esto se indica en los cronogramas de avance de los servicios mensual que es evaluado y aprobado.

En el contrato de servicios establecido, se determina que, al existir discrepancias negativas entre lo programado y ejecutado, se aplicará penalidades según el cuadro de penalidades al incumplimiento de los metrajes u otras obligaciones en las ejecuciones de las obras, estas sanciones según contrato son de US\$500 y hasta un máximo del 10% del monto total de la valorización mensual realizada en el periodo de un mes.

Las principales faltas se dan en el cumplimiento del metraje considerado en los programas de avance que implica desvíos en el avance por disparos y el número de disparos ejecutados, así como

el incumplimiento de la sección sin las condiciones establecidas en el programa de producción presentándose desvíos en sobre rotura.

Todos estos desvíos son perjudiciales para la empresa al momento de valorizar sus servicios y preservar su imagen empresarial.

Con la necesidad de cumplir y superar lo indicado en los programas de desarrollo y explotación, la empresa contratista Ingeniero Ejecutores Sociedad Anónima IESA SA, por medio de su sistema gestión de calidad tiene la necesidad de establecer indicadores de las capacidades de proceso y una metodología que permita mejorar la capacidad del proceso operativo de avance por disparo, número de disparos y sobre rotura.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

P.- ¿Cómo se debe mejorar el proceso operativo de avance por disparo para reducir las penalidades de la valorización mensual en la empresa contratista IESA SA -UP ANIMON?

1.2.2. Problemas Específicos

P1.- ¿Qué indicadores se debe establecer para medir en forma eficiente la capacidad del proceso operativo de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON?

P2.- ¿Cuáles son las herramientas de mejora continua que se deben aplicar para mejorar la capacidad del proceso operativo de avance por disparo en la ECM IESA – UP ANIMON?

P3.- ¿Cuáles son los resultados de la aplicación del método Lean Six Sigma que mejora la capacidad del proceso de avance por disparo en la ECM IESA – UP ANIMON?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

O.- Mejorar la capacidad de proceso de avance por disparo para reducir las penalidades en la valorización mensual en la empresa contratista IESA SA -UP ANIMON

1.3.2. Objetivos específicos

O1.- Establecer indicadores que midan eficientemente la capacidad de proceso operativo de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON.

O2.- Definir las herramientas de mejora continua que se deben aplicar para mejorar la capacidad del proceso operativos de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON.

O3.- Obtener resultados de la aplicación del método Six Sigma que mejoren la capacidad del proceso de avance por disparo en la ECM IESA – UP ANIMON

1.4. Justificación, importancia y delimitación de la investigación.

1.4.1. Justificación de la investigación.

En la Unidad de producción Animon, de la Compañía Minera Chungar - Volcan donde la Empresa Contratista Minera IESA SA realiza actividades de laboreo minero se cuenta con dificultades en el cumplimiento al 100% de los programas de avance y desarrollo, siendo el principal problema la cantidad de disparos con avance deficiente es decir fuera de los límites de especificación planteados por el cliente en el contrato de servicios con la contratista, lo que conlleva el riesgo de dejar de valorizar el 10% del total de la valorización mensual, siendo en promedio 90 000 dólares mensuales.

El presente trabajo de investigación pretende mejorar la satisfacción del cliente logrando establecer una metodología que permita estandarizar y lograr la mejora continua de los procesos, así como disminuir la variabilidad en el proceso de avance por disparo, llegando a cumplir con las necesidades planteadas por el cliente.

1.4.2 Importancia de la investigación

La implementación de la metodología DMAIC de Lean Six Sigma es importante ya que ayudará a mejorar el proceso de avance de disparo del servicio de laboreo minero ayudando a resolver aquellos problemas recurrentes dentro de los procesos de la empresa entre ellos las voladuras deficientes que impactan en los metros equivalentes del programa mensual de avance.

Cumplir con las metas planteadas, hará que la satisfacción de cliente mejore y en la valorización mensual no se generen penalidades que afecte en los ingresos a la empresa.

1.4.3. Delimitación de la investigación

Delimitación espacial: La investigación se desarrolla la mina Animon un yacimiento polimetálico de zinc, plomo, plata y cobre, propiedad de la Empresa Administradora Chungar SAC, en las vetas de Andalucía (Nv. 4225, 4275, 4300, 4310, 4350), Veta

Andalucía 120 (Nv. 3900, 3925, 4050, 4270, 4275), Veta Andalucía 120 Techo (Nv. 4025, 4050), Veta Ramal Piso 3 – principal (Nv. 3524, 3875, 3900, 3925), y Veta Ofelia (Nv. 4050, 4075)

Delimitación temporal: El trabajo de investigación utilizó datos de los meses de enero a diciembre 2022 y como parte de resultados datos de los meses de enero a junio 2023.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General.

H.- Con la aplicación de la metodología LEAN SIX SIGMA se puede mejorar la capacidad de proceso de avance por disparo y evitar las penalidades en la valorización mensual en la empresa contratista IESA SA -UP ANIMON.

1.5.2. Hipótesis Específicas.

H1.-Con la implementación del indicador de Avance por Disparo se puede medir eficientemente la capacidad del proceso operativo de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON.

H2.- Con la definición de las herramientas de mejora continua de la metodología DMAIC de Six Sigma se puede mejorar la capacidad de proceso de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON.

H3.- Con la aplicación efectiva de la metodología Six sigma se puede lograr resultados que mejoren la capacidad de proceso de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON.

1.6. Variables y su Operacionalización

Tabla 01

Operacionalización de variables

Variable		Factor	Indicador	Unidad / Forma de cálculo
Independiente	Metodología Lean Six Sigma	Estandarización de malla de perforación	Nivel de cumplimiento de malla de perforación	$\% = (\text{Disparos cumpliendo malla} / \text{Disparos planificados}) \times 100$
		Capacidad del proceso de avance	Capacidad del proceso (Cp)	Cp
		Calidad del avance	Índice de defectos por unidad (DPU)	%
		Gestión de mejoras	Planes de acción ejecutados	$\% = (\text{Ejecutados} / \text{Planteados}) \times 100$
		Programa de desarrollo y explotación	Cumplimiento del programa de avance	$\text{m/disparo} = \frac{\text{metros ejecutados}}{\text{metros programados}}$
Dependiente	Avance por disparo	Valorización del avance	Utilidad mensual obtenida	\$
		Satisfacción del cliente	Nivel de satisfacción del cliente	% según encuesta
		Eficiencia de costos	Costo por metro perforado (PU)	\$/m

Fuente: Elaboración propia

Capítulo II:

Marco Teórico de la Investigación

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

a). **Quiroz Alegría, Rodrigo Andrés (2016)** en su tesis de la Universidad de Chile para optar al grado de Magíster en Gestión y Dirección de Empresas con el tema de **“Implementación de metodología Lean en minería subterránea - estudio de caso Esmeralda”**, plantea los siguientes objetivos y llega a una conclusión.

Objetivo general.

Analizar la aplicación de LEAN en un sector operativo perteneciente a la Gerencia de Minas de la División El Teniente, destacando a la mina Esmeralda como una de las unidades donde se evidenciaron mejoras significativas en indicadores clave como productividad, costos operacionales, KPIs y la meta de los fines establecidos en el plan de producción minera.

Conclusión.

Los resultados alcanzados confirman las ventajas de implementar la metodología LEAN en entornos mineros, al evidenciarse una transformación en la estructura operativa y en la lógica de gestión, sustentada en una cultura orientada al alto desempeño. Esta nueva forma

de operar se traduce en una adaptación más eficiente de los activos, una disminución en los costos operativos y un mayor grado de cumplimiento de los planes de producción, todo ello respaldado por la gestión y monitoreo sistemático de indicadores clave de desempeño (KPI).

2.1.2. Antecedentes nacionales

- a). Moreano Panti, Edwar (2022)** en su tesis de la escuela de Postgrado de la Maestría de regulación, Gestión y Economía Minera de la Pontificia Universidad Católica del Perú, estableció la investigación de **“La mejora en la gestión de los procesos de perforación y voladura para incrementar el cumplimiento de los programas de preparación y desarrollo a cargo de la empresa IESA S.A. en la mina El Porvenir”**.

Objetivo general.

Evidenciar el aumento en el nivel de la empresa IESA S.A. en el yacimiento minero El Porvenir, como resultado de la optimización en la administración de los flujos de perforación y voladura, abarcando desde el diseño de las mallas perforadoras hasta la ejecución y supervisión en terreno, mediante la adaptación de las herramientas de gestión propuestas.

Conclusión.

Las propuestas orientadas a modificar las mallas perforadoras y voladura deben comenzar con una muestra, de manera que, mediante el uso de estadística, sea posible analizar y validar si los resultados obtenidos reflejan una mejora significativa al ser aplicados a nivel poblacional.

- b). Cruz Ccahuana, Jorge (2019)** en su tesis de la universidad Nacional del Altiplano, denominada **“Optimización del proceso de perforación primaria con el método Lean Six Sigma en la Unidad Minera Antapaccay”**.

Objetivo general.

Diseñar e implementar una herramienta de gestión orientada a optimizar el uso de los equipos perforadores en la Unidad Minera Antapaccay, con el objetivo específico de incrementar sus niveles de utilización. Para llevar a cabo este estudio, se empleó el enfoque Lean Six Sigma, utilizando la metodología DMAIC. En la etapa inicial, se definió el

problema a partir de una evaluación realizada en conjunto con el área operativa mina, basada en la evaluación de sus indicadores clave de desempeño (KPI). Consecuentemente, se identificaron las variables que inciden directamente en la adaptación de los perforadores primarios. Estos factores se enmarcan dentro de un sistema de clasificación denominado “modelo de uso de tiempos”, el cual permite reconocer y categorizar las variables que inciden el desempeño de los KPI del área de operaciones mina.

Conclusión.

Mediante la adaptación de cartillas de control y la disminución de la variabilidad en los retrasos, se consiguió optimizar la utilización de los equipos perforadores primarios, evidenciado en un incremento del nivel sigma del proceso, aplicando Lean Six Sigma. Asimismo, se detectó que tanto las demoras programadas como las no programadas carecían de un base adecuado. Adicionalmente, se determinó que el estado de Stand By de las perforadoras primarias no representa un impacto significativo en su nivel de utilización. En consecuencia, se concluye que, a través del enfoque Lean Six Sigma, fue posible incrementar de manera efectiva la utilización de estos equipos en la Unidad Minera Antapaccay.

c). Espinoza, Frank y Carreño, Joseph (2022) de la Pontificia Universidad Católica del Perú, en su tesis “**Control operativo de los metros de avance por disparo mediante la metodología Lean Six Sigma**”,

Objetivo general.

Aumentar los salarios mensuales de la empresa correspondiente a la valorización de avances durante el año 2021, en contraste con los productos obtenidos en el año 2020.

Conclusión.

Con el indicador clave de desempeño (KPI) de metros de avance por disparo registrado a partir de mayo de 2021, con un valor de 3.4, se concluye que se logró una disminución en la variabilidad del proceso y una mejora en la eficacia del cumplimiento del avance diario. De acuerdo con el análisis de capacidad del proceso, la implementación del nuevo diseño de malla durante la prueba piloto realizada en los meses de enero y febrero permitió reducir en un 51% el porcentaje de resultados fuera de especificación.

2.1.3. Antecedentes locales

a). **Aslla Clavijo, Yessenia (2022)** de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco en su tesis **“Incremento de la productividad con el método KAIZEN de mejora continua en la mina San Carlos Lampa – Puno”**.

Objetivo general.

El objetivo es mejorar la productividad adaptando el método Kaizen 5S en el yacimiento minero San Carlos.

Conclusión.

La adaptación de Kaizen "5S" en San Carlos mejoró lo productivo de 0.12 m/tarea a 0.18 m/tarea en actividades lineales. La estandarización progresó la eficiencia en perforación y voladura a 1.48 m/disparo y redujo el factor de carga a 3.92 kg/m.

2.2. Bases teóricas

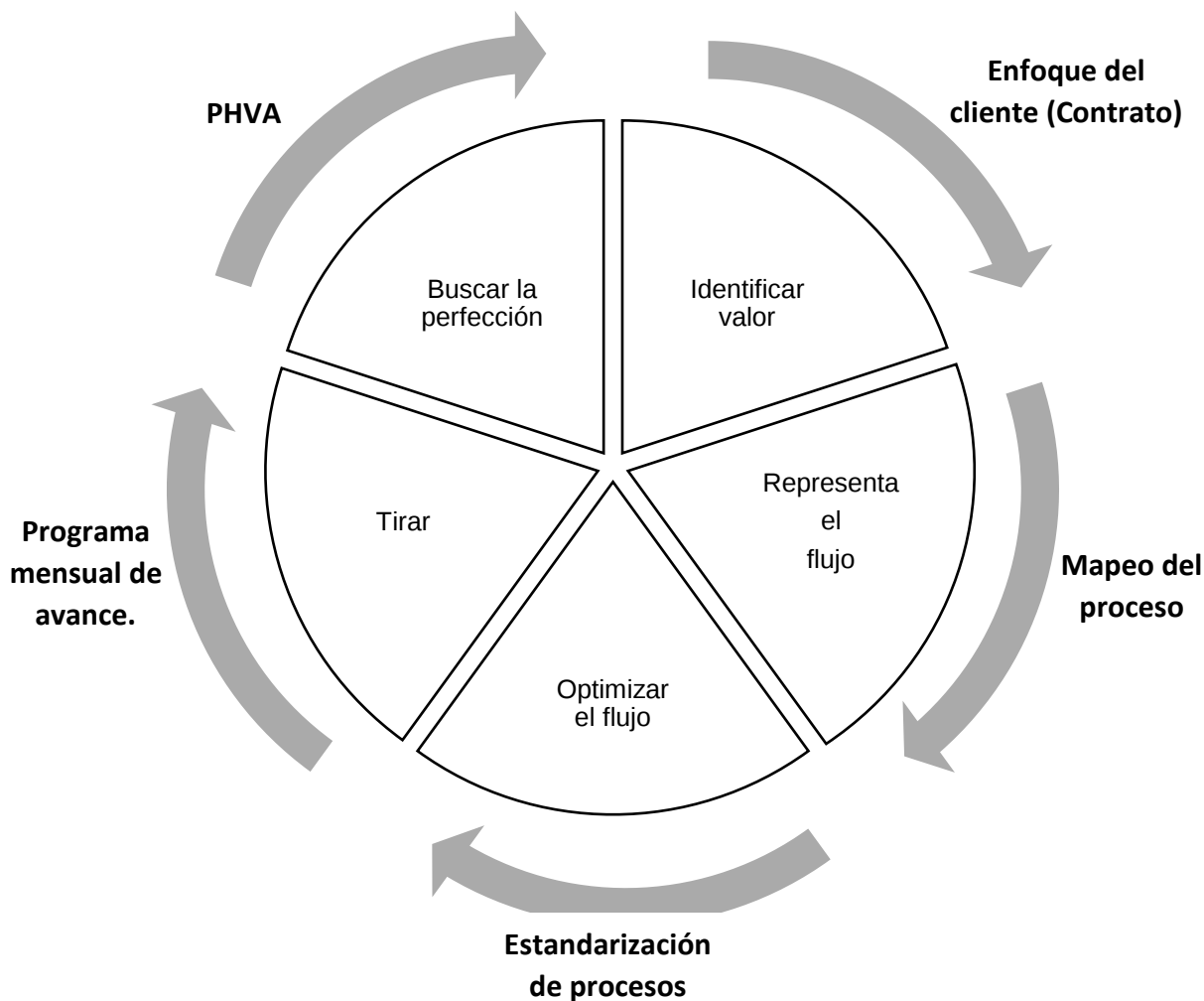
2.2.1. Filosofía Lean

Pablo Lledó (2013), en su obra *“Gestión Lean y Ágil de Proyectos”*, define el pensamiento Lean como un conjunto de recursos enfocados en mitigar las pérdidas causadas por retrasos e ineficiencias en los flujos, así como en prevenir y erradicar fallas en la producción, buscando de manera continua el progreso de la calidad.

La filosofía LEAN se basa en 5 principios:

1. Definir el valor de acuerdo al cliente: Se considera “Valor” a cualquier cosa por la que un cliente estará dispuesto a pagar.
2. Identificar el flujo de valor: Implica reconocer todas las acciones para culminar el flujo y brindar el producto o servicio final al cliente. Este flujo incluye todas las tareas que agregan valor y son esenciales para satisfacer con las solicitudes del cliente de manera eficiente.
3. Optimizar flujo: Se debe enfocar en el cliente y crear una fuente de valor diseñada en brindar las necesidades del cliente.
4. Pull (Tirar): Consiste en producir según las necesidades del cliente final, buscando mantener inventarios mínimos y evitar la sobreproducción. Este enfoque se basa en la demanda real, lo que permite una gestión más eficiente de los recursos y una reducción en los desperdicios.
5. Buscar perfección: Un proyecto lean requiere vigilancia constante para mantener y mejorar el desempeño a través de la disciplina y la intolerancia de los desperdicios.

En la figura 01 se resume de manera gráfica los principios de la filosofía Lean.

Figura 1*Principios de la filosofía Lean*

Fuente: Lledó, Pablo (2013) “Gestión Lean y ágil de proyectos”

2.2.2. Six Sigma

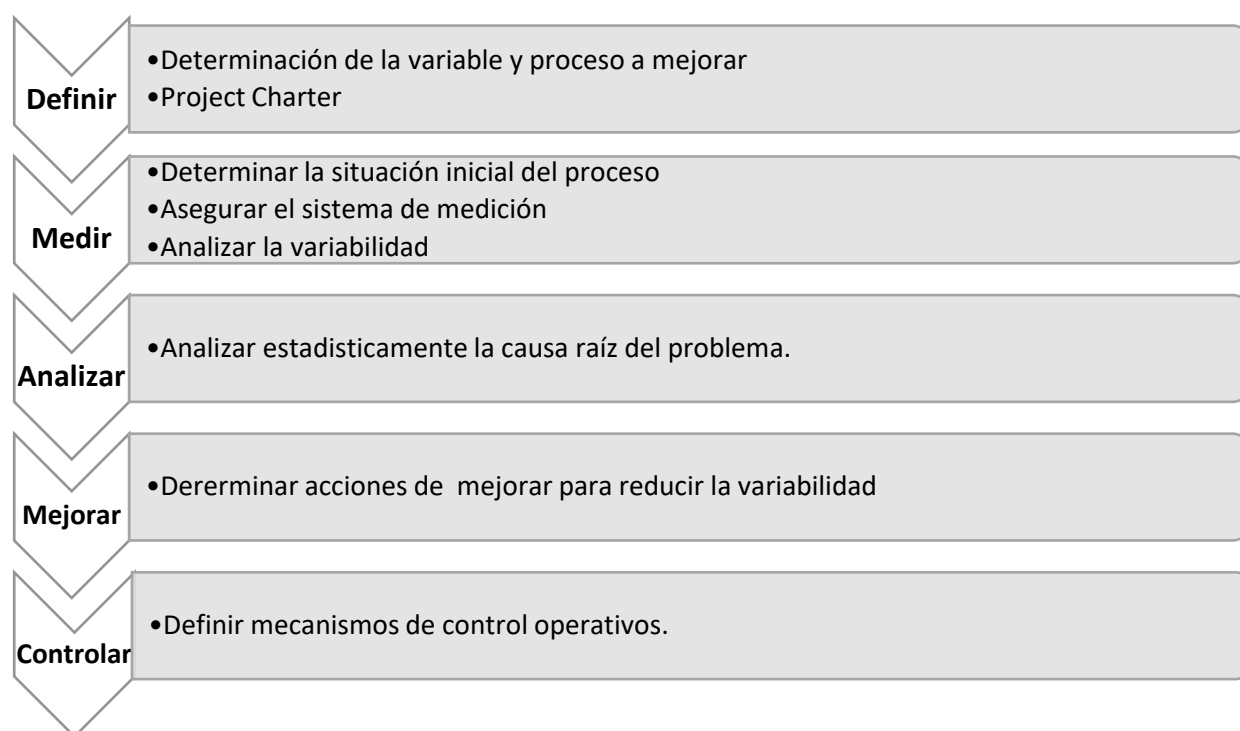
Gutiérrez (2009), define Six Sigma como una estrategia de mejora continua del negocio enfocada al cliente, que busca encontrar y eliminar las causas de errores o defectos en los procesos. Siempre se consideran a los clientes y sus necesidades como el punto central. La estrategia 6 σ se basa en un enfoque metodológico respaldado por herramientas y principios estadísticos.

2.2.3. Metodología DMAIC

Alderete (2003) describe las herramientas propias de Seis Sigma como aquellas que emergen del esquema del modelo DMAIC (por su acrónimo en inglés). Este modelo consta de cinco etapas esenciales, que se han consolidado como el método estándar para abordar problemas operativos y de diseño, tanto en la producción como en los sistemas de servicio. Las etapas son: Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Etapas de la metodología Six Sigma (DMAIC)



Fuente: Lledó Pablo (2013) “Gestión Lean y ágil de proyectos”

2.2.4. Lean Six Sigma

Voehl, F.; Harrington, J.; Mignosa, C & Charron, R. (2014), define La metodología Lean Six Sigma como una filosofía operacional que combina dos de las metodologías de mejora continua más populares: Lean y Six Sigma. El objetivo de estos enfoques es eliminar 8 tipos de desperdicios (productos defectuosos, sobreproducción, transporte, espera, inventario, movimiento, retrabajo, RR.HH. subutilizado) y suministrar bienes y servicios

con una tasa de calidad equivalente a 3.4 defectos por cada millón de oportunidades (DPMO).

2.2.5. Sistema de gestión de calidad.

Según Gutiérrez y De la Vara (2009), el sistema de gestión de calidad implica actividades mediante las cuales la organización establece sus metas y define los procesos y recursos requeridos para lograr los resultados deseados. El Sistema de Gestión de Calidad administra los procesos que interactúan y los recursos necesarios para generar valor y alcanzar los resultados deseados para las partes interesadas relevantes, el Sistema de Gestión de Calidad posibilita a la alta dirección optimizar el uso de los recursos considerando las consecuencias de sus decisiones a largo y corto plazo; además un Sistema de Gestión de Calidad proporciona los medios para identificar las acciones para abordar las consecuencias previstas y no previstas en la provisión de productos y servicios.

2.2.6. Proceso

Gutiérrez y De la Vara (2009), menciona que la organización tiene procesos que pueden definirse, medirse y mejorarse. Estos procesos colaboran para generar resultados alineados con los objetivos de la organización y trascienden los límites funcionales. Algunos procesos pueden ser esenciales, mientras que otros pueden no tener la misma importancia. Los procesos incluyen actividades interconectadas que transforman entradas en salidas.

2.2.7. Capacidad de un proceso

Gutiérrez y De la Vara (2009), menciona que la facultad de un flujo se basa en evaluar la amplitud de la variación natural del flujo para una variable de calidad dada; Esto ayudará a determinar en qué grado esa característica de calidad cumple con las especificaciones requeridas.

2.2.8. Índice de la capacidad potencial del proceso (CP)

Según Gutiérrez y De la Vara (2009), el indicador de la capacidad potencial del proceso se obtiene al dividir el rango de las especificaciones (variación permitida) entre la variabilidad inherente del proceso.

2.2.9. Índice Ppk

Es una variable del desempeño real del flujo, que se halla usando la desviación estándar de largo plazo. (Gutiérrez y De la Vara; 2009)

2.2.10. Índice Z

Es la métrica de capacidad de procesos más utilizada en Seis Sigma. Se calcula determinando la separación entre la media y las especificaciones, y luego dividiendo esta separación por la desviación estándar. (Gutiérrez y De la Vara; 2009).

2.2.11. Índice DPU (defectos por unidad)

Es una métrica de calidad que es igual al número de defectos encontrados entre el número de unidades inspeccionadas. No considera las posibles oportunidades de error. (Gutiérrez y De la Vara; 2009).

2.2.12. Diagrama de pareto

Gráfico de barras utilizado para identificar prioridades y causas, ordenando los diversos problemas de un proceso según su importancia relativa. (Gutiérrez y De la Vara; 2009).

2.2.13. Diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto)

El diagrama de causa y efecto, también conocido como diagrama de Ishikawa, es una herramienta gráfica que establece una conexión entre un problema o efecto y los posibles factores o causas que podrían haberlo originado. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas, utilizando el método de las 6 M que es el más común y consiste en agrupar las posibles causas se agrupan en seis categorías principales (6 M): métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente. (Gutiérrez y De la Vara; 2009).

2.2.14. Lluvia de ideas

Gutiérrez y De la Vara (2009), es una forma de pensamiento creativo encaminada a que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre un tema.

2.2.15. Estabilidad de un proceso

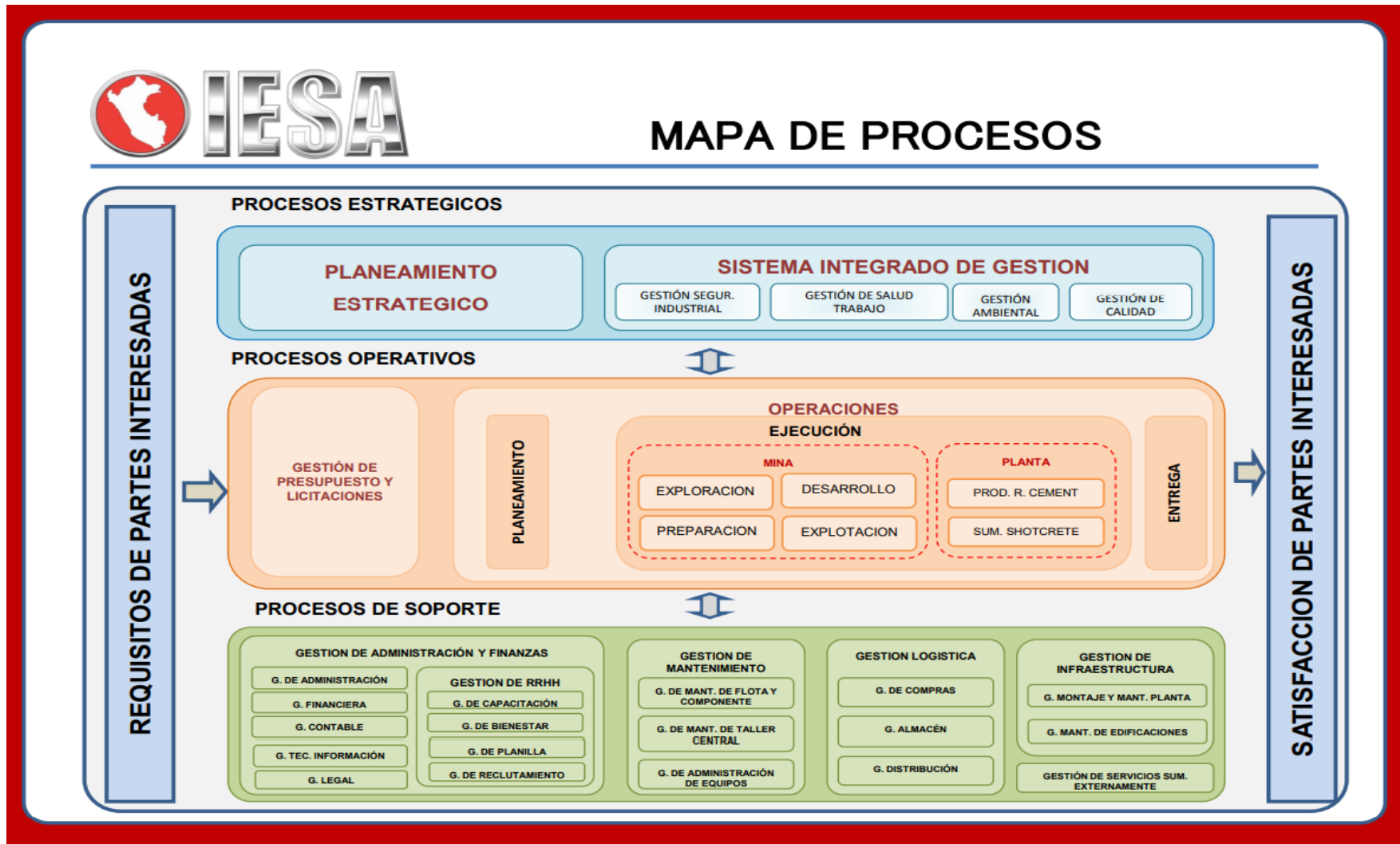
Gutiérrez y De la Vara (2009), es la variación de un proceso a través del tiempo. Si está estable (o control estadístico) entonces es predecible en el futuro inmediato, en caso de proceso inestable/incapaz es aquel que no cumple con especificaciones y en el que las causas especiales de variación surgen frecuentemente, resultando en baja calidad y siendo difíciles de prever en términos de su impacto.

2.2.16. Mapa de procesos

En el manual M-COR-SGI-01 - Manual del Sistema de gestión Integrado IESA (2021), establece que el mapa de procesos es una herramienta del sistema integrado de gestión donde se establecen los procesos estratégicos, de cadena de valor y soporte; así como sus interrelaciones; tal como se muestra en la figura 03.

Figura 3

Mapa de procesos IESA



Fuente: Manual M-COR-SGI-01 – Manual del Sistema Integrado de Gestión IESA (2021)

2.2.17. Ficha de procesos

En el manual M-COR-SGI-01 - Manual del Sistema de gestión Integrado IESA (2021), IESA menciona que determina la secuencia e interacción de procesos del SGI en el mapa de procesos y determina la entradas requeridas y las salidas esperadas de cada proceso en la Ficha de Procesos (F-COR-SGI-11), que es un formato establecido por IESA, F-COR-SGI-11 y que establece el proceso, sub proceso, nombre del procesos, responsable, objetivo, alcance, insumos requeridos, salidas o resultados y clientes, recursos necesarios, indicadores, y procesos o subprocesos relacionados.

2.2.18. Contexto de la organización

IESA determina en el F-COR-SGI-03 “Análisis del Contexto”, qué factores externas e internas son relevantes para el Sistema de Gestión de Calidad, que afectan a su capacidad para lograr los resultados previstos, determinando las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas para la organización.

2.2.19. Partes interesadas

La Norma Internacional ISO 9000 Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario (2015), define como parte interesada a la persona u organización que puede afectar, verse afectada o ser vista como influenciada por una decisión o actividad

2.2.20. Satisfacción del cliente

En el procedimiento P-COR-SGI-09 - Seguimiento, Medición y Análisis (2021), menciona que con la finalidad de conocer la vista de los clientes del grado en que se cumplen sus solicitudes, el Gerente de Obra / Gerente de operaciones minera y civiles debe remitir anualmente de forma física o por correo electrónico el formato FCOR-SGI-55, “Encuesta de satisfacción” a las siguientes representantes:

- Responsable del contrato (Cliente)
- Supervisor asignado (Cliente).
- Superintendente(s) de SSOMA (Cliente)

Los resultados obtenidos deben ser revisados, analizados y evaluados por el Gerente de obra / Gerente de operaciones minera y civiles, con la finalidad de determinar acciones o mejoras

necesarias en el servicio y/o producto; las cuales están en función a la calificación obtenida como lo observamos en la tabla 2.

Tabla 2

Criterios de evaluación de satisfacción del cliente

Calificación		Acción
44 – 60	Bueno	Se envía resultados al residente de Obra, gerencia general y gerente de seguridad para conocimiento.
28 - 43	Regular	Se envía resultados al residente de obra, gerencia general y gerente de seguridad para discutir aspectos a mejorar y determinar un plan de acción
12 - 27	Bajo	Se envía los resultados al residente de obra, gerencia general y gerencia de seguridad, y se les convoca a reunión con el cliente para discutir aspectos y determinar un plan de acción.

Fuente: P-COR-SGI-09 Seguimiento, Medición y Análisis (2021)

2.2.21. Determinación de indicadores

En el procedimiento P-COR-SGI-09 - Seguimiento, Medición y Análisis (2021), menciona que en IESA los indicadores de desempeño se establecen a través del formato F-COR-SGI-40, “Ficha de Indicadores”, los cuáles son aprobados por el representante de la alta dirección (RAD).

Para establecer los indicadores se debe tener en cuenta:

- Requisitos de calidad del producto y/o servicio.
- Riesgos y oportunidades.
- Objetivos
- Requisitos legales y otros requisitos.
- Controles operacionales y otros controles.

Y clasificar en:

a. Indicadores de condición (IC): Son aquellos que se relacionan con el contexto de la organización y dotan información acerca la condición ambiental, local, regional a lo largo del tiempo o por eventos específicos.

b. Indicadores de desempeño (ID): Son aquellos que adoptan información con la gestión de las solicitudes de calidad del servicio y/o producto, los criterios ambientales y riesgos significativos de la organización y a su vez facilitan demostrar los productos de los programas de gestión. Estos indicadores se tipifican en:

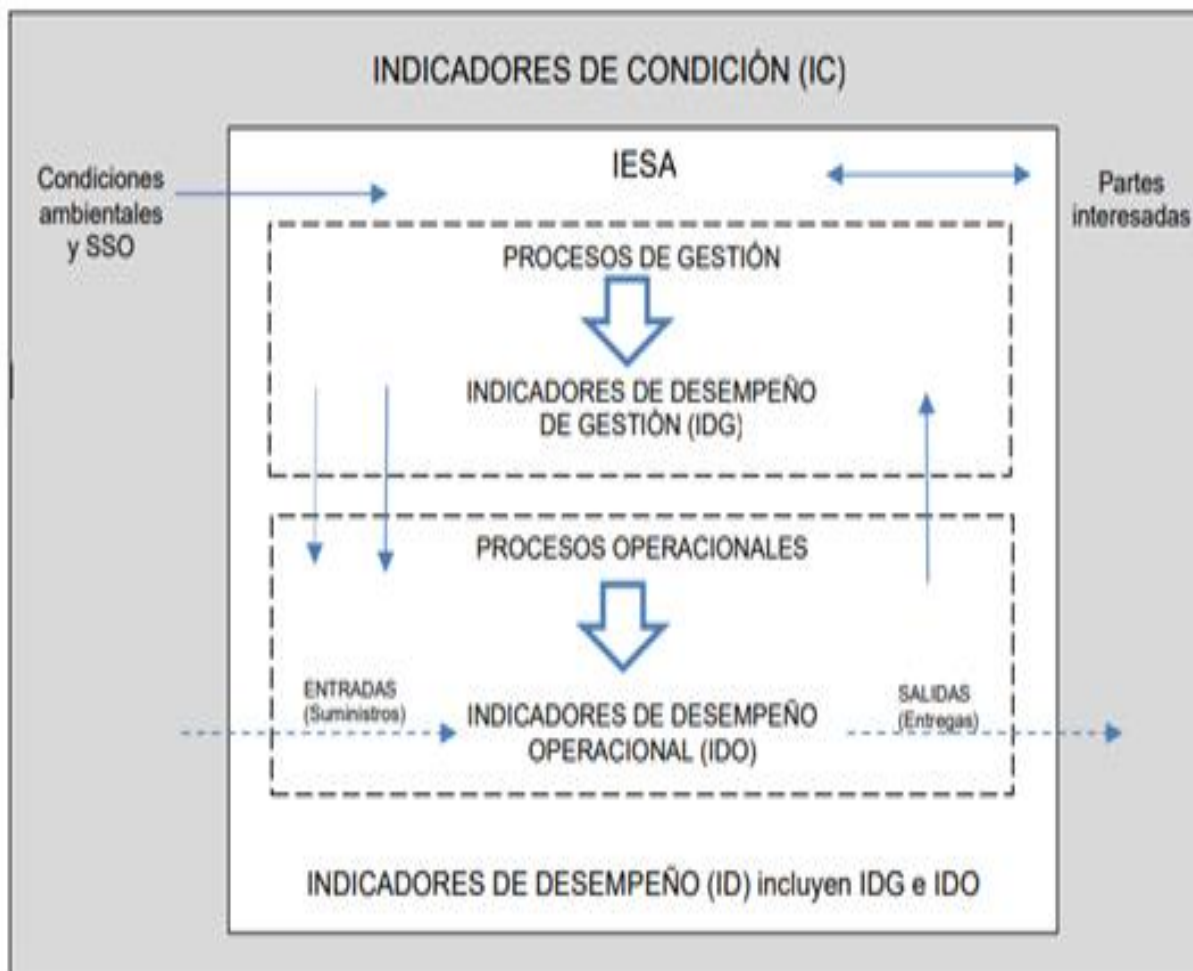
- **Indicadores de desempeño de gestión (IDG):** Aquellos asociados a los procesos de gestión, dotan data sobre los esfuerzos de la administración para influenciar en el progreso de calidad, ambiental, seguridad y salud en el trabajo.
- **Indicadores de desempeño operacional (IDO):** Aquellos asociados a los procesos operacionales; desde las entradas, las actividades de producción, hasta las salidas; y a su vez proporcionan información sobre el desempeño de calidad, ambiental, seguridad y salud en el trabajo.

En la figura 04, se muestra la interrelación que existe entre los indicadores de desempeño.

2.2.22. Ficha de indicadores

En el procedimiento P-COR-SGI-09 - Seguimiento, Medición y Análisis (2021), menciona que en IESA se estableció un formato como parte del sistema integrado de gestión, cuya función es realizar el seguimiento de los indicadores, denominado Ficha de indicadores (F-COR-SGI-40).

Entre sus partes, lo conforman el dato del indicador, objetivo, tipo, la meta, la unidad de medida, la frecuencia de medición, la fuente de información, la fórmula de cálculo, los responsables, el seguimiento del indicador, el análisis y evaluación y las acciones en caso de observaciones. En la figura 4 se muestran los indicadores de condición de la empresa.

Figura 4*Indicadores de condición*

Fuente: P-COR-SGI-09 Procedimiento de Seguimiento, Medición y Análisis.

2.2.23. Límites de tolerancia o especificaciones

Gutiérrez y De la Vara (2009), mencionan que límites de especificación son los valores entre los cuales debe estar la característica de calidad de un producto o servicio.

En IESA, estos límites por lo general se establecen de acuerdo con los requisitos del cliente; asegurando la prestación de los servicios de desarrollo y preparación minera de las diferentes áreas, de acuerdo con los contratos, programas mensuales de planeamiento coordinados con el cliente.

2.2.24. Minitab

MINITAB es un software cuya misión es ayudar a aprovechar el poder del análisis de datos para lograr un impacto significativo a través de mejoras en el negocio e innovaciones que

transforman la vida, utilizando análisis avanzado, aplicando aprendizaje automático y desarrollando visualizaciones y tableros de control más efectivos.

Tomado del portal WEB de MINITAB (<https://www.minitab.com/es-mx/company/>).

2.2.25. Mejora continua

La Norma Internacional ISO 9000 Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario (2015), menciona que mejora continua es la actividad recurrente para mejorar el desempeño.

El proceso de definir metas y descubrir oportunidades de mejora es un proceso continuo que se basa en los hallazgos y conclusiones de auditorías, el análisis de datos, revisiones por parte de la dirección u otros métodos. Este proceso generalmente resulta en la implementación de acciones correctivas o preventivas.

2.2.26. Estandarización

Instrucciones o procedimientos acordados y documentados que describen la mejor secuencia y forma de trabajo de un proceso. :(Borrór, C. M, 2009)

2.2.27. Programa de desarrollo y explotación

Programa que debe contener los lineamientos generales e indicaciones técnicas de los Servicios, así como el plazo de ejecución y avance de los mismos. Tomado del Contrato para la prestación de servicios entre Compañía Minera Chungar S.A.C y IESA S.A (2017).

2.2.28. Valorización

Se genera como consecuencia de la revisión final de lo registrado en el Cuaderno de Incidencias, Ocurrencias, Obra o en el Reporte Diario en un Periodo de Costo y será revisado, aprobado y firmado por el representante de la Contratista y el Supervisor del Contrato Particular nombrado por Chungar. Tomado del Contrato para la prestación de servicios entre Compañía Minera Chungar S.A.C y IESA S.A (2017).

Capítulo III:

Metodología de la Investigación

3.1. Método de Investigación

El método que se utilizó en la presente investigación fue analítico y deductivo.

El método analítico consiste en la descomposición de un todo en sus partes. Esta separación puede ser material o ideal (Bernal, 2016). O sea, en el primer caso el objeto analizado sufre una descomposición real en sus partes, en el segundo esta separación ocurre solo en la mente del analizador. El análisis se opone lógicamente a la síntesis, ya que esta consiste en la composición ordenada de los elementos diferentes de un todo, o sea, se basa en una operación contraria a la analítica.

El método deductivo consiste en la descripción, comprobación de las hipótesis planteadas y relación de los resultados de la investigación entre dimensiones y con otros estudios similares utilizando modelos ecuacionales, índices, evidencias empíricas, etc. Se establecieron hipótesis relacionadas con la mejora esperada en el rendimiento del proceso mediante la implementación de Six Sigma. mediante la comprobación mediante modelos y herramientas, como el análisis de causa-raíz (Diagrama de Ishikawa), el análisis de capacidad del proceso y los modelos derivados del Minitab con la finalidad de establecer controles específicos que minimicen esas variaciones con los modelos de simulación.

El método analítico permite descomponer el problema en sus partes esenciales, mientras que el método deductivo proporciona una vía lógica y estructurada para validar la hipótesis y relacionar los resultados con el contexto teórico y práctico de la investigación.

3.2. Tipo de Investigación

El tipo de estudio de la presente investigación es aplicada o tecnológica de enfoque cuantitativo, porque persigue fines de aplicación directos e inmediatos al utilizar datos de las mediciones de los avances de cada disparo en las labores de operación de la ECM IESA en la U.O Animon.

3.3. Nivel de investigación

El nivel adoptado en la presente investigación es de tipo evaluativo. El diseño evaluativo se caracteriza por analizar los resultados obtenidos luego de aplicar una metodología, con el fin de determinar su efectividad en función de los objetivos propuestos

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación es longitudinal ya que se recogen datos sobre una población, en distintos momentos a lo largo del tiempo. Esto ya que en la investigación se recogen datos de manera diaria de las mediciones de los avances por cada disparo ejecutado en la guardia.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Por las características propias de la investigación se plantea como población no probabilística trabajar con los datos del avance de aproximadamente 600 disparos en las operaciones de la empresa contratista minera IESA SA en la U.O ANIMON.

3.5.2. Muestra

Como muestra se toma por conveniencia, 10 disp./día, del avance de los disparos ejecutados en las vetas de Andalucía (Nv. 4225, 4275, 4300, 4310, 4350), Veta Andalucía 120 (Nv. 3900, 3925, 4050, 4270, 4275), Veta Andalucía 120 Techo (Nv. 4025, 4050), Veta Ramal Piso 3 – principal (Nv. 3524, 3875, 3900, 3925), y Veta Ofelia (Nv. 4050, 4075); para fines de la investigación la muestra fue recolectada en los meses de julio y agosto del año 2022 para la fase de medición y análisis.

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos e Información

3.5.1 Técnicas de recolección de datos

Se aplicó la técnica de recolección documental, que consistió en el análisis de reportes operativos, y reportes de control de calidad, con el fin de extraer datos históricos y actuales

relevantes para la medición de indicadores. Adicionalmente, se utilizó la técnica de encuesta estructurada, para evaluar la percepción de satisfacción del cliente.

3.5.2 Instrumentos para la recolección de información

Los instrumentos utilizados fueron:

- Base de datos operativos, que permitieron utilizar las mediciones de antes y después.
- Encuesta de satisfacción, aplicada para evaluar el impacto percibido de la mejora en la calidad del servicio.

3.5.3 Análisis e interpretación de la información

La información recolectada fue procesada mediante herramientas estadísticas y de calidad propias de la metodología Lean Six Sigma. Se aplicó el análisis de capacidad del proceso (Cp), análisis del índice DPU (defectos por unidad), y gráficos de Pareto para priorizar las principales causas de ineficiencia. Asimismo, se utilizó el enfoque DMAIC para estructurar la mejora continua, complementado con un análisis causa-raíz mediante diagramas de Ishikawa. Los resultados fueron interpretados en función del nivel de cumplimiento de los indicadores clave antes y después de la implementación, permitiendo validar la efectividad de la mejora aplicada.

Capítulo IV

Análisis de la Investigación

4.1. Implementación de la metodología Lean Six Sigma

En este punto se detallará el desempeño operativo en el proyecto de minería subterránea llevado a cabo por Ingenieros Ejecutores SA (IESA SA). La estructura sigue la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), ampliamente utilizada en iniciativas de mejora continua bajo el enfoque Lean Six Sigma. Esta metodología permite abordar problemas complejos de manera sistemática, asegurando que las soluciones implementadas estén respaldadas por datos y dirigidas a las causas raíz de las ineficiencias.

a) Fase Definir:

Esta etapa se enfoca en establecer claramente el problema principal, que en este caso se centra en el incumplimiento del programa mensual de avance. También incluye la identificación de los actores clave, la delimitación del alcance del proyecto y la documentación de los objetivos a través de herramientas como el Project Charter y el Diagrama SIPOC. Estas herramientas facilitan una comprensión integral de los procesos y las expectativas del cliente.

b) Fase Medir:

Se recopilan y analizan datos específicos para establecer una línea base del rendimiento actual del proceso. En este caso, se examinan indicadores como el número de disparos diarios y los metros de avance por disparo, evaluando la variabilidad y los factores que influyen en el cumplimiento del programa mensual. La precisión en los métodos de medición, como el uso de estaciones totales y distanciómetros, es fundamental para garantizar la validez de los datos recopilados.

c) Fase Analizar:

En esta etapa, se identifican las causas raíz de los problemas mediante herramientas como el Diagrama de Ishikawa y el análisis de los "5 Porqués". Se evalúan variables críticas como la falta de personal, el mantenimiento inadecuado de equipos y la desviación en las mallas de perforación. Además, se cuantifica el impacto de estas variables en el rendimiento y se priorizan aquellas que tienen mayor incidencia sobre los resultados.

d) Fase Mejorar:

Con base en los hallazgos, se diseñan e implementan mejoras enfocadas en reducir la variabilidad y optimizar el rendimiento. Para este caso, se proponen acciones específicas como la estandarización de mallas de perforación, capacitación del personal y supervisión en campo, además de un seguimiento constante para garantizar la sostenibilidad de las mejoras.

e) Fase Controlar:

Esta fase asegura que las mejoras implementadas se mantengan a largo plazo. Incluye la creación de mecanismos de monitoreo, indicadores clave de desempeño y controles operativos que permitan prevenir la recurrencia de problemas y asegurar el cumplimiento continuo del programa de avance.

4.1.1 Etapa Definir

El objetivo principal de la fase definir es delimitar el alcance del proyecto. La fase de Definir busca responder a la pregunta: " ¿Qué genera el incumplimiento al programa mensual de avance?".

Los principales ítems que abarcaremos de la fase de Definición son:

- Información general de la empresa
- Desarrollar la declaración del problema
- Expresar las necesidades del cliente

- Asignar al líder del proyecto y miembros del equipo
- Documentar el proyecto (Project charter)

1. Información general de la empresa

El caso de estudio abarca a una empresa contratista peruana denominada Ingenieros Ejecutores SA – IESA SA que brinda soluciones en gestión integral de operaciones para minería y construcción, con 70 años de experiencia, y aproximadamente 1500 colaboradores.

- Antecedentes en Minería - Más de 50 proyectos entre Explotación, Desarrollo, Preparación, Operación de Mina y Servicios Generales, shotcrete y relleno, en diferentes departamentos del país y Bolivia.

En el presente caso de estudio, se analiza el cumplimiento de entregas del “Laboreo Minero de Preparación, explotación y profundización Interior Mina ubicada en la Unidad de Producción de Animon – Chungar”, contrato ejecutado por la empresa desde el 2017,

La empresa contratista Ingenieros Ejecutores SA – IESA SA; ejecuta sus labores principalmente en las siguientes estructuras.

Tabla 3

Estructuras de trabajo IESA

Nº	ESTRUCTURA	NIVELES
1	Veta Andalucía	NV. 4225, NV. 4250, NV. 4275, NV. 4300, NV. 4310, NV. 4350
2	Veta Andalucía 120	NV. 3900, NV. 3925, NV. 4050, NV. 4270, NV. 4275
3	Veta Andalucía 120 Techo	NV. 4025, NV. 4050,
4	Veta Principal	NV. 3900, NV. 3950, NV. 4175, NV. 4275
5	Veta Ramal Piso 3 – principal	NV. 3524, NV. 3875, NV. 3900, NV. 3925, NV.
6	Veta Ofelia	NV. 4050, NV. 4075

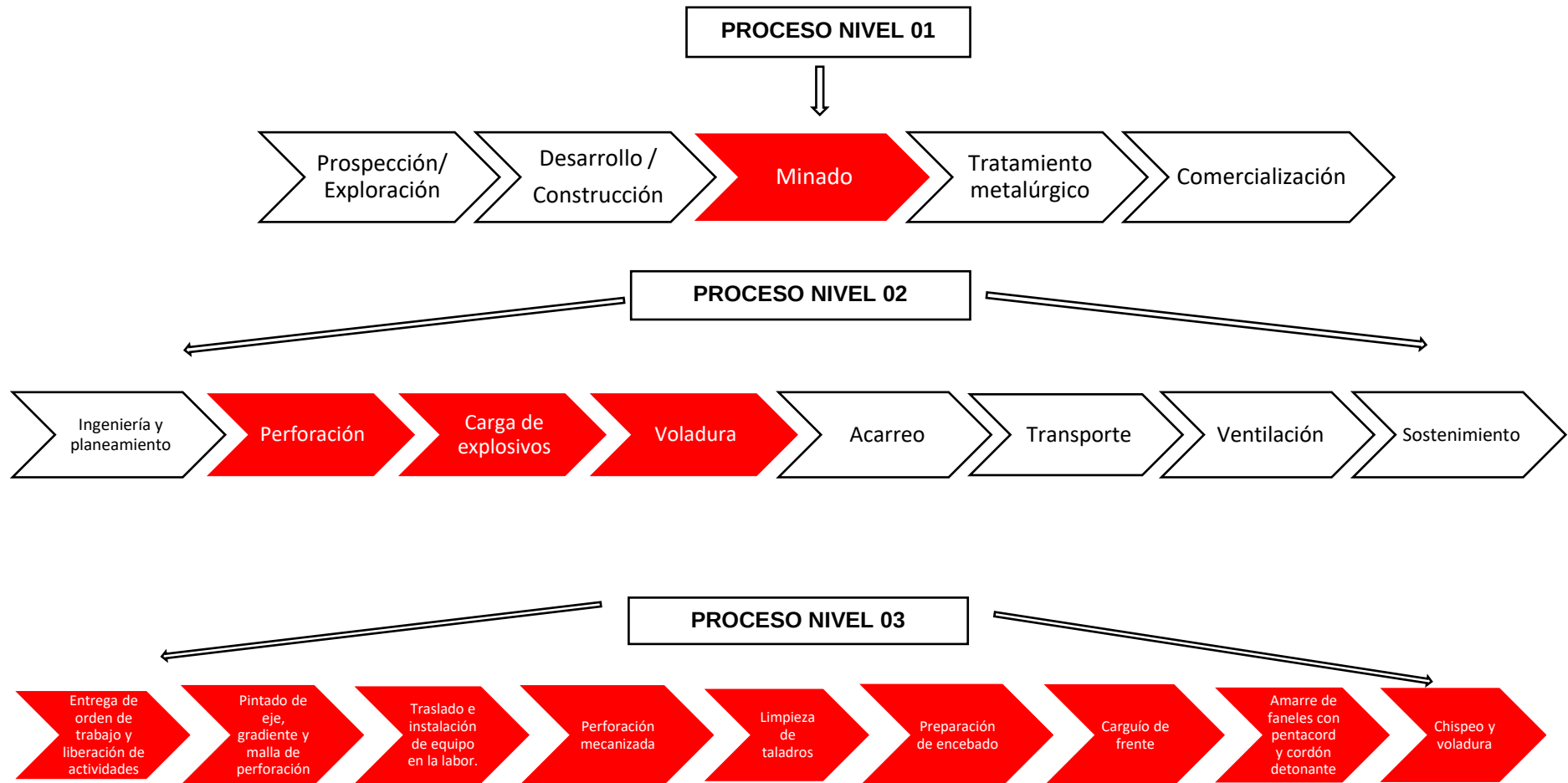
Fuente: Elaboración propia

2. Mapeo de procesos

Proceso Nivel 1: El análisis comienza con una visión global de la cadena de valor, enfocándose en la fase de Minado, en la cual proporciona servicios de desarrollo, preparación y explotación avance de cuadrillas.

Proceso Nivel 2: Dentro de la fase de minado, el estudio se enfoca en las operaciones unitarias de Perforación y Voladura, donde se identifican los factores clave que afectan la variabilidad en los metros de avance diario.

Proceso Nivel 3: En las fases e Perforación y Voladura, se detallan las tareas que influirán en la identificación de los factores con mayor impacto en el problema. Estas tareas incluyen la entrega de órdenes de trabajo, pintado de eje y malla de perforación, traslado e instalación de equipo, perforación mecanizada, limpieza de taladros, carguío de frente, amarre de faneles con pentacord y cordón detonante, y finalmente, chispeo y voladura. Se muestra en la figura 05, los procesos por niveles.

Figura 5*Procesos por niveles*

Fuente: Elaboración propia

3. Declaración del problema

Incumplimiento en el proceso operativo de avance por disparo, lo que genera el riesgo de tener penalidades de la valorización mensual y/o pérdida de venta mensual para la ECM IESA SA.

4. Situación actual de desempeño

A continuación, se presenta un cuadro resumen del desempeño del primer semestre del año 2022.

Tabla 4

Situación actual del desempeño

Ítem	Unidad	Ene-22	Feb-22	Mar-22	Abr-22	May-22	Jun-22
Promedio							
Avance/disparo (Objetivo)	m	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Promedio							
Avance/disparo mensual	m	3.24	3.40	3.39	3.38	3.35	3.2
Diferencia promedio de avance	m	0.26	0.10	0.11	0.12	0.15	0.30
Nro. Disparos ejecutados	Und	67	30	49	47	37	28
Metros perdidos por eficacia de avance	m	17.42	3.0	5.39	5.64	5.55	8.4
P.U promedio	\$/m	300	300	300	300	300	300
Pérdida de valorización por eficacia de avance	\$	5226	900	1617	1692	1665	2520

Fuente: Reporte de costos IESA – ANIMON

Tabla 5*Situación actual - Nro. de disparos*

Ítem	Unidad	Ene-22	Feb-22	Mar-22	Abr-22	May-22	Jun-22
Promedio							
Avance/disparo (Objetivo)	m	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Nro. Disparos no ejecutados	Und	121	141	158	140	203	321
Metros perdidos por disparos no ejecutados	m	423.5	493.5	553	490	710.5	1123.5
P.U promedio	\$/m	300	300	300	300	300	300
Pérdida de valorización por disparos no ejecutados	\$	127050	148050	165900	147000	213150	337050

Fuente: Reporte de costos IESA – ANIMON**Nota:** Los disparos que se muestran corresponden a frentes completos.

En el cuadro se muestra que el indicador de avance por cada disparo es de 3.50 metros, siendo la especificación mínima de calidad en un disparo.

Para observar el impacto del problema y cuantificarlo económicamente; realizaremos un resumen del promedio de avance/disparo mensual y se hallará la diferencia con el indicador objetivo; resultando una diferencia que posteriormente se multiplicará por el promedio del precio unitario; obteniendo la pérdida de valorización por eficacia de avance.

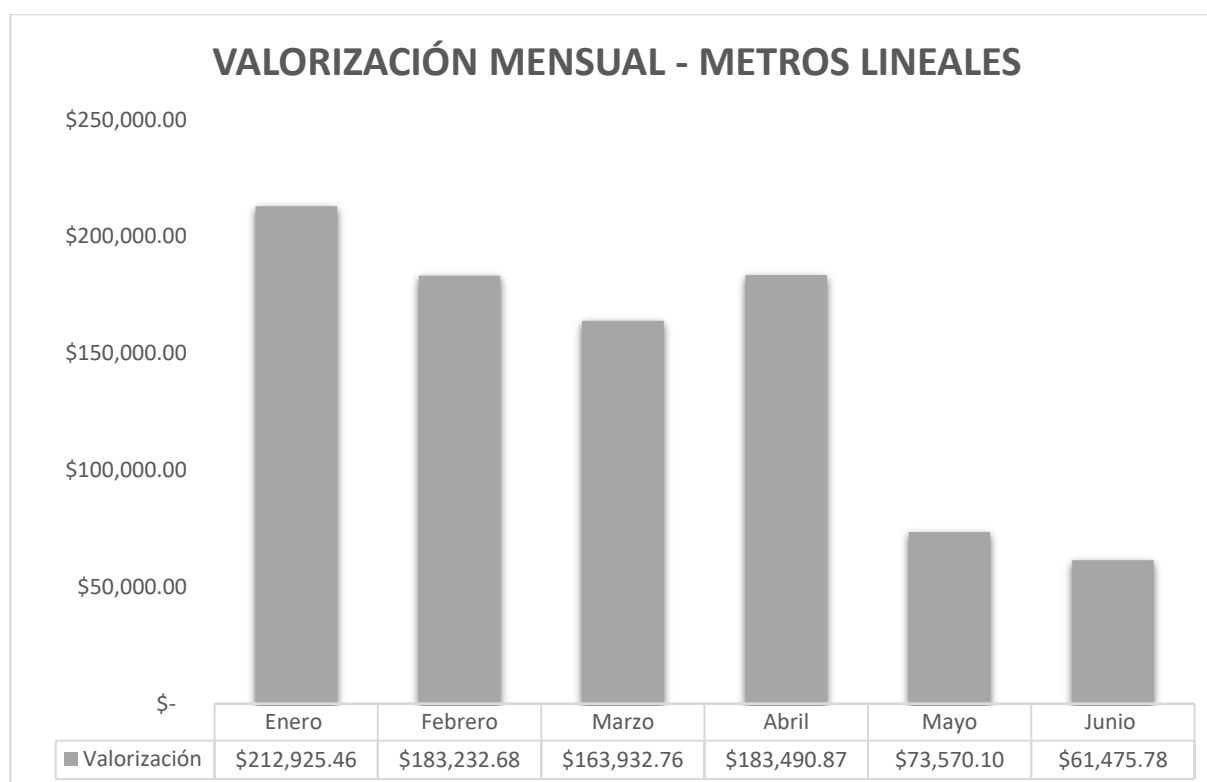
Para conocer la pérdida económica por disparos no ejecutados, se cuantifico los disparos no ejecutados por mes y se multiplicó por 3.5 (Indicador base), para luego multiplicarlo por el precio unitario.

Sumando ambas pérdidas tenemos que la empresa deja de percibir \$ 1 151 820 al semestre; significando un promedio de **190 000 dólares mensuales**.

Con la finalidad de poder ver el impacto de esta pérdida; tomaremos los datos de las valorizaciones mensuales del servicio de metros lineales de la ECM IESA SA; mostrándose en la figura 6.

Figura 6

Gráfico de valorización mensual - metros lineales



Fuente: Reporte de valorización – IESA ANIMON

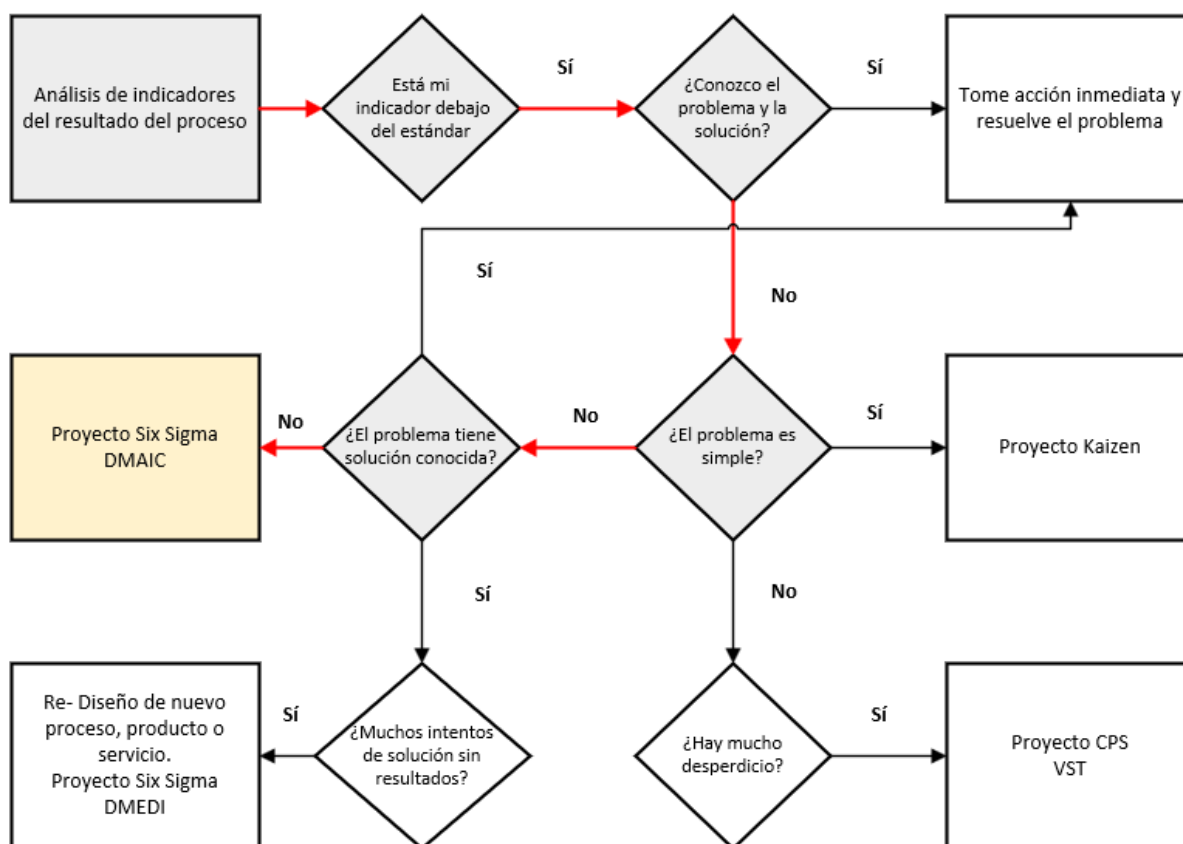
Con los datos proporcionados; podemos afirmar que la pérdida de ventas promedio \$ 190 000 de la ECM IESA supera en 5 meses a la valorización que finalmente se ejecutó.

Esto pone de manifiesto la considerable importancia del problema, subrayando la necesidad imperativa de tomar decisiones efectivas para mejorar su desempeño.

A continuación, en la figura 7, presentamos un diagrama de flujo que nos asistirá en la definición del proyecto de mejora a utilizar en este caso de estudio.

Figura 7

Flujograma de definición del proyecto de mejora



Fuente: Material de estudio programa de especialización Six sigma – UNI

Como punto de partida, hemos verificado que el indicador de avance por disparo promedio está por debajo del estándar requerido. Además, aún no se ha identificado con precisión cuál es la solución al problema, el cual no es trivial y carece de una solución conocida. Según el diagrama de flujo, esto nos conduce a adoptar la metodología Six Sigma DMAIC para el proceso de mejora.

5. Expresar las necesidades del cliente

Las necesidades del cliente en este caso de estudio se ven reflejado en el contrato de servicios, en los programas mensuales y semanales de ejecución y en la evaluación de satisfacción del cliente cuyo resultado fue de 40 (Regular).

Las herramientas a utilizar para reflejar las necesidades del cliente serán:

- Tabla de voz del cliente
- Diagrama de características críticas de calidad – CTQ

El desarrollo de estas herramientas se definió a través de un Focus Group integrados por el residente, asistente de residente, jefe de costos; así como los representantes de la compañía minera de las áreas de planeamiento, voladura y superintendencia,

a) Tabla de voz del cliente

La Tabla de Voz del Cliente captura y organiza la información sobre como el cliente usa el servicio. Asimismo, “traduce” las necesidades del cliente significativas y medibles para la toma de acciones por parte de la organización y el proceso responsable.

Tabla 6

Voz del cliente

Objetivo	Metros por disparo ≥ 3.5 m
Voz del cliente	Cumplimiento al programa mensual de avance.
Uso	Who? La empresa titular minera ¿Quién? What? Avance por disparo dentro de las especificaciones de avance y calidad ¿Qué? When? Cada disparo programado/ varias ocasiones por guardia ¿Cuándo? Where? Labores programadas para voladura ¿Dónde? Why? Incrementar ingresos ¿Porqué? How? Avance por disparo cumpliendo con los estándares y procedimientos ¿Cómo? Acciones tomadas Implementación de indicadores Identificación de fallas del proceso y cubrir brechas Seguimiento al cumplimiento del programa mensual de avance

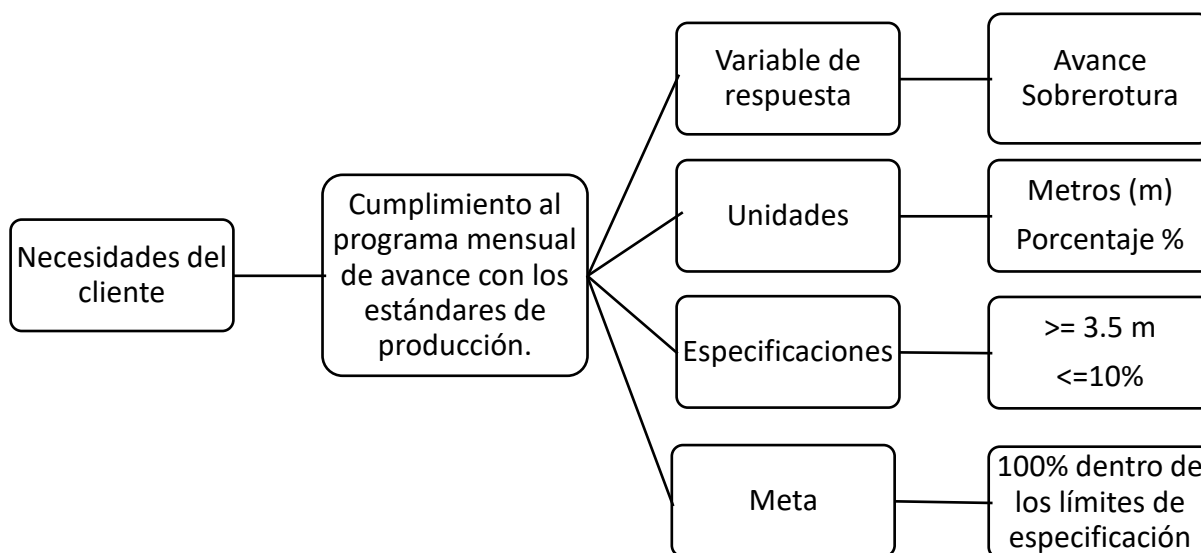
Fuente: Elaboración propia

b) Diagrama de características Críticas de calidad – CTQ

A continuación, en la figura 8, se presenta las características críticas del servicio:

Figura 8

Diagrama CTQ



Fuente: Elaboración propia

Se observa que los estándares de calidad requeridos por el cliente incluyen el cumplimiento mensual del programa de avance, para lo cual los disparos deben ser iguales o superiores a 3.5 metros. Asimismo, es crucial avanzar de manera controlada, asegurándose de que el porcentaje de sobre rotura sea inferior al 10%.

6. Asignar al líder del proyecto y miembros del equipo

En la tabla 7, se identificaron las partes interesadas, tanto internas como externas, que participarán de manera directa o indirecta en el proyecto.

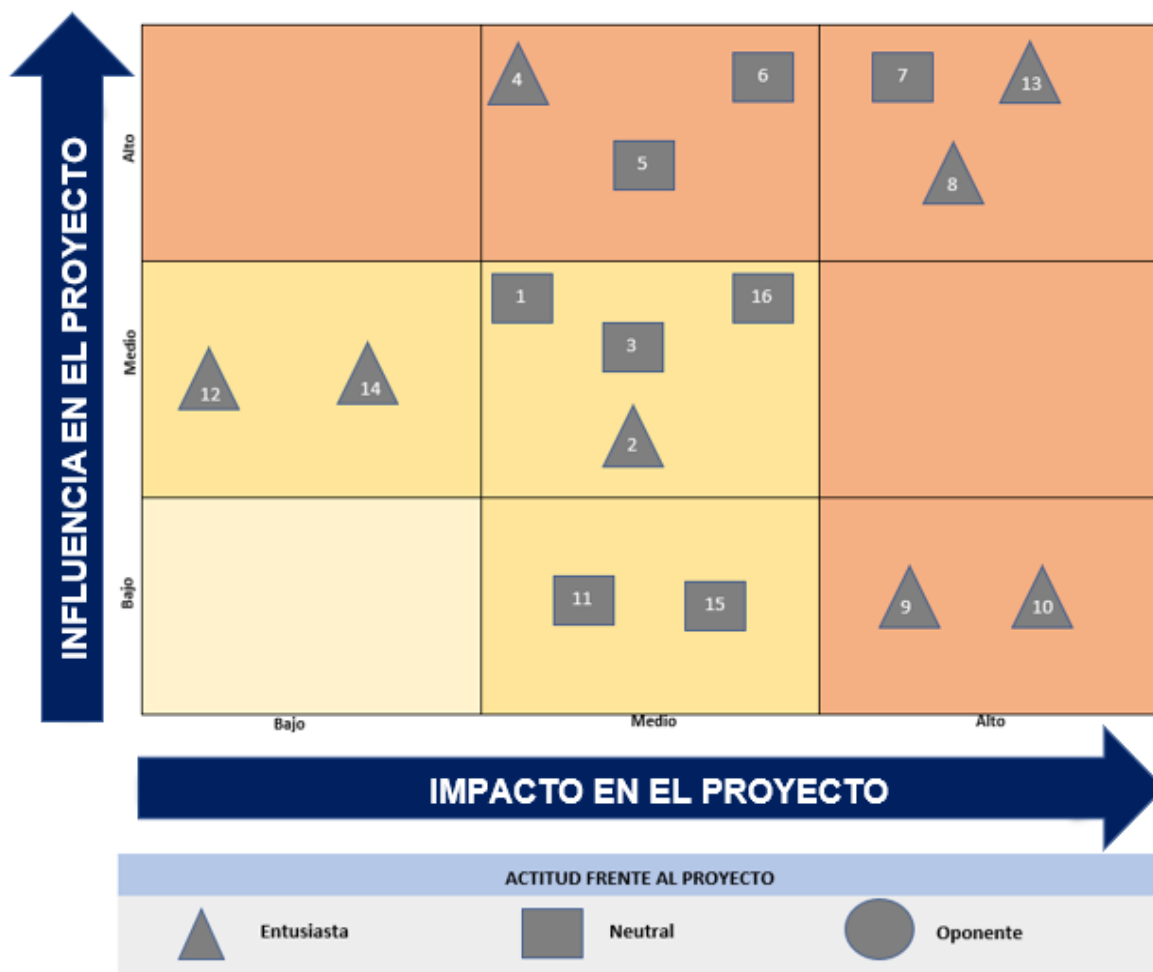
Se evaluó el nivel de impacto e influencia que cada uno tiene sobre el proyecto en una reunión extraordinaria convocada por el Coordinador de Calidad de la Obra.

Tabla 7*Miembros del proyecto*

N°	Internos/ Externos	Puesto	Impacto	Influencia
01	Externo	Gerente General – IESA	Medio	Medio
02		Gerente de Operaciones – IESA	Medio	Medio
03		Superintendente Mina – Volcan	Medio	Medio
04		Gerente de Obra – Animon	Medio	Alta
05		Ingeniero Residente	Medio	Alto
06		Ingeniero Asist. Residente	Medio	Alto
07		Jefe de guardia	Alto	Alto
08		Técnico de Operaciones	Alto	Alto
09	Interno	Operador de Jumbo	Alto	Baja
10		Cargador	Alto	Baja
11		Ayudante de mina	Medio	Baja
12		Jefe de costos y voladura	Baja	Medio
13	Proveedores	Supervisores de voladura	Alto	Alto
14		Analista SGI	Baja	Medio
15		Almacén	Alto	Baja
16		Famesa	Alto	Medio

Fuente: Acta comité de calidad

El impacto se centra en los efectos concretos que una parte interesada puede tener sobre el proyecto, la influencia se refiere más a la capacidad de esa parte interesada para ejercer poder o modificar el curso del proyecto a través de sus acciones y decisiones.

Figura 9*Diagrama de actores clave del proyecto*

Fuente: Elaboración propia

Para facilitar una comprensión más didáctica, la figura 09 detalla las actitudes de cada actor clave del proyecto: ya sea como entusiasta, neutral o como oponente; basado en las opiniones y percepciones de cada actor tiene del proyecto;

Los puestos con alto impacto y alta influencia son cruciales para el éxito del proyecto y sus decisiones tienen un gran peso. Ejemplos incluyen **el jefe de guardia y el Técnico de Operaciones y los supervisores de voladura**, los puestos con alto impacto, pero baja influencia, como el

"Operador de Jumbo" y el "Cargador", son esenciales para la operación diaria, pero tienen menos poder de decisión; los puestos con impacto e influencia medios, como los gerentes de IESA y la superintendencia de Volcan, tienen una presencia significativa pero equilibrada en términos de impacto e influencia; los proveedores, como Famesa y almacén, también juegan un papel importante en el proyecto, con un impacto alto y una influencia media.

Como líder del proyecto se determina al Jefe de Voladura siendo también el coordinador de la gestión de Calidad del proyecto.

7. Diagrama SIPOC

Como antesala para la documentación del proyecto se utilizó el diagrama SIPOC, conocido por sus siglas en inglés que representan Supplier (Proveedores), Inputs (Entradas), Process (Procesos), Outputs (Salidas) y Customers (Clientes).

Este diagrama proporciona una representación gráfica del proceso, detallando las actividades específicas, las entradas y salidas relevantes, así como la identificación de los proveedores y clientes involucrados.

En la tabla 08, se muestra el diagrama SIPOC realizada en 2 reuniones lideradas por la residencia y el área de voladura, y con la participación de la supervisión operativa que permitieron tener una visión clara y estructurada de un flujo de trabajo.

La finalidad que participe un equipo multidisciplinario en la creación del SIPOC, es para realzar el compromiso con la implementación de mejoras ya que se considerarán parte del análisis y toma de decisiones

Tabla 8*Diagrama SIPOC*

S (Proveedores)	I (Entradas)	P (Procesos)	O (Salidas)	C (Cliente)
Ingeniero Supervisor de operaciones	- Programación semanal de actividades - Labores programadas de avance	Entrega de orden de trabajo y liberación de actividades 	Marcado de contras (Con la finalidad de garantizar las mediciones de cada disparo) Orden de trabajo	Ayudante
Ayudante	- Labor sostenida según recomendación geomecánica - Materiales (Pintura, brocha, Spray, escalera, cordel) - Diseño de malla - Pets, Iperc Continuo, Orden de trabajo	Pintado de eje, gradiente y malla de perforación 	Malla de perforación pintada en el frente de avance	Operador de jumbo
Operador de Jumbo	- Orden de trabajo - Equipo Jumbo instalado en labor - Guiadores	Perforación mecanizada 	Taladros perforados según malla de perforación Longitud de taladros Desviación de taladros	Ayudante
Ayudante	- Orden de trabajo - Cucharilla - Taladros perforados	Limpieza de taladros 	Taladros limpios para el carguío	Cargador

Ayudante y cargador	- Orden de trabajo - SUCAMEC - Malla de perforación y voladura - Fulminante - Emulsión - Supervisión - Equipo Manitou / Escalera	Preparación de encebado y carguío de frente	Frente cargado	Cargador
				
Ayudante y cargador	- Orden de trabajo - Taladros de frente cargados	Amarre de faneles con pentacord y cordón detonante	Frente amarrado, listo para el chispeo	Cargador
				
Cargador	- Frente Amarrado	Chispeo y voladura	Roca Fragmentada Avance por disparo	Operador de Scoop

Fuente: Reunión de excelencia operativa

8. Project Chapter

Es un documento que define (partes del proyecto) y autoriza (formaliza u oficializa) un proyecto de mejora. Se realizó el planteamiento según la siguiente estructura:

Objetivo:

Incrementar en un 30% el cumplimiento del programa mensual de avance en las actividades de perforación, chispeo y voladura, reduciendo pérdidas económicas y cumpliendo con las expectativas del cliente.

Problema Identificado:

El incumplimiento del programa mensual/semanal afecta la satisfacción del cliente y genera pérdidas estimadas en 1 millón de dólares semestrales.

Impacto Esperado:

Se proyecta una mejora del 30% en las valorizaciones del primer semestre de 2023 tras implementar el proyecto.

Equipo:

El proyecto será liderado por un equipo multidisciplinario que incluye un Champion, un Black Belt, dos Green Belts, y colaboradores clave, con roles y tiempos asignados para garantizar el éxito.

Metodología:

Se aplica el modelo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) con un plan definido en fases desde junio de 2022 hasta marzo de 2023, asegurando un enfoque estructurado para la mejora continua.

Aprobación:

El proyecto cuenta con la validación de los responsables clave: el residente de obra, el gerente de obra y el gerente de operaciones.

A continuación, en la figura 10, presentamos el formato de Project Chapter; propuesto por el jefe de costos y voladura, revisado por residencia y aprobado por la gerencia de obra.

Figura 10

Project Chapter

	FORMATO		CODIGO: F-ANI-COS-06
	PROJECT CHAPTER		VERSIÓN: 01
			PÁGINA: 01 de 01
NOMBRE DEL PROYECTO		MEJORAR LA CAPACIDAD DE PROCESO DE AVANCE POR DISPARO	
FECHA DE REVISIÓN		15/06/2022	
Caso del Negocio		Problema u oportunidad de mejora	
Razón para realizar el proyecto en beneficio de la empresa y el cliente.		La insatisfacción del cliente	
Mejorar la capacidad del proceso de avance por disparo y exceder las expectativas del cliente y evitar penalidades por incumplimiento al programa mensual de avance.		Incumplimiento en el programa mensual / semanal por parte de la ECM.	
Objetivo o Meta		Alcance del proceso	
A dónde se quiere llegar		El proceso que debemos mejorar	
Tener una capacidad de proceso superior al 85 % en cuánto al indicador de avance por disparo.		Desde: Perforación	Hasta: Chispeo y Voladura
Equipo de trabajo			
Nombre	Función	Dedicación esperada	
Gerente de Operaciones	Champion	2 Horas a la Semana	
Gerente de Obra	Propietario	4 Horas a la Semana	
Residente	Black Belt)	20 Horas a la Semana	
Jefe de Costos y Voladura	Green Belt 1	12 Horas a la Semana	
Asistente de Residente	Green Belt 2	12 Horas a la Semana	
Asistente de Residente	Green Belt 3	12 Horas a la Semana	
Jefes de Guardia	Colaborador 1	Cuando se requiera	
Analista SGI	Colaborador 2	Cuando Se requiera	
Plan del Proyecto			
Etapa DMAIC	Fecha de inicio	Fecha programada Fin	
Lanzamiento del Proyecto	15/06/2022	15/06/2022	
Definir	16/06/2022	30/06/2022	
Medir	1/07/2022	15/09/2022	
Analizar	16/09/2022	30/10/2022	
Mejorar	1/11/2022	30/12/2022	
Controlar	1/01/2023	30/01/2023	
Entrega del Proyecto a Propietario	1/02/2023		
Aprobación			
Nombre	Puesto	Firma	
Carlos Garcia	Residente de Obra		
Eliseo Bellido	Gerente de Obra		
Elvis Torres	Gerente de Operaciones		

El usuario es responsable de asegurar el uso de la versión vigente a través de la plataforma documentaria SharePoint o consultar al Coordinador o Facilitador

Fuente: Reunión del comité de excelencia operativa

4.1.2. Fase Medir

El propósito de la fase Medir es desarrollar un programa de recolección de datos, evaluar datos y crear una referencia del rendimiento reciente del proceso.

El equipo debe establecer una base de referencia para la situación actual.

Es posible que el equipo no crea que la medida está cumpliendo el objetivo, por lo que deben recopilar datos para verificar el nivel de rendimiento actual.

Los entregables de la fase de Medir incluyen:

- Plan de recolección de datos y análisis del sistema de medida
- Determinación de variables iniciales
- Determinación de datos de las variables
- Determinación de variables de entrada de las X iniciales
- Mapeo de procesos
- Análisis de capacidad de los procesos afectados

1. Recolección de datos y sistema de medición

El equipo de trabajo ha identificado que la precisión en la medición de las características críticas mostradas en el análisis CTQ, que son avance por disparo y sobre rotura es crucial para lograr analizar y mejorar la calidad del servicio. Es por ello que se especificó los métodos de recolección de datos y el sistema de medición en la tabla 09.

Especificación de métodos y equipos de medición

Tabla 9

Especificación de métodos y sistemas de medición

Elemento	Descripción
Método de medición:	Medición directa utilizando estación total y distanciómetro
Equipo de medición:	- Estación Total Leica TS09 + 1 R500 - Distanciómetro Leica Disto D2
Personal:	- Técnico topógrafo - Ayudante topógrafo
Procedimiento	1. Coordinación de trabajos para la guardia 2. Inspección de la labor a levantar 3. Verificación del equipo y su certificado de calibración 4. Estacionar el trípode sobre o debajo del punto topográfico, nivelar y fijar. 5. Visar el punto de orientación • Estación Conocida; Se hace vista atrás sobre el punto anterior, esta lectura será la referencia para el replanteo de dirección y avance de puntos topográficos. • Estación Libre; se visa 2 puntos o más para calcular estación y orientación 6. Realizar Levantamiento Topográfico, empezando a detallar la labor (lateral, techo, piso, radial), cada 1m, desde el último levantamiento hasta el tope de la labor. 7. Replantear y marcar los puntos topográficos para ver la culminación de un proyecto o cuando gira la labor

Procedimiento: Uso de Distanciómetro	8. Desmontar y Guardar el Equipo, al terminar la toma o lectura de datos, se desmonta el equipo del trípode, se coloca a su estuche, para luego retirar el trípode. 9. Procesamiento y registro de datos, se realizan en gabinete empezando por la bajada de datos del levantamiento topográfico de las labores de operación y el registro de operaciones en Excel. 1. Verificación del equipo y su certificado de calibración 2. Identificación de los puntos donde se realizarán las mediciones 3. Encender el distanciómetro y configurar la unidad de medida (metros, pies, etc.) 4. Seleccionar el modo de medición adecuado (distancia) 5. Colocar el distanciómetro en una superficie estable 6. Asegurarse de que el láser no esté obstruido por ningún objeto 7. Apuntar el láser del distanciómetro hacia el punto objetivo, presionar el botón de medición para obtener la distancia y verificar la lectura en la pantalla y registrarla. 8. Registrar todas las mediciones en un cuaderno de campo, incluyendo fecha, hora, labor y cualquier observación relevante. 9. Realizar ajustes si es necesario y repetir las mediciones en caso de discrepancias significativas. 10. Al finalizar asegurarse de que todos los equipos estén completos y en buen estado. 11. Corroborar los datos con el resultado del levantamiento topográfico.
Tolerancia	± 2 mm hasta 120 metros con DISTO X310)
Estación total	
Tolerancia	± 1.5 mm en su rango de medición de 0.05 a 100 metros
Distanciómetro	

Fuente: Reunión del comité de excelencia operativa

2. Determinación de variables iniciales

El responsable del Sistema Integrado de Gestión detectó incumplimientos en los indicadores de avance por disparo y número de disparos a través del análisis de la ficha de indicadores del proceso de operaciones. Según el procedimiento de gestión P-COR-SGI-14 "No conformidad y acción correctiva", la analista SGI, junto con el coordinador de calidad, debe generar una solicitud de acción correctiva (SAC) y enviarla al proceso donde se identificó la no conformidad, en este caso, al proceso de operaciones para su análisis respectivo y registro en el formato F-COR-SGI-20 "Solicitud de acciones correctivas".

El responsable del proceso, al tener conocimiento del hallazgo, debe tomar medidas para controlar y corregir la no conformidad y afrontar las consecuencias. Además, junto con su equipo de trabajo y otras partes interesadas pertinentes, debe identificar la causa raíz del hallazgo.

Con el objetivo de identificar la causa raíz, en una reunión con los miembros del comité de excelencia operativa, se analizó la pregunta "¿Cómo vamos actualmente?". Se identificó como variable de salida final el incumplimiento del programa mensual de avance dado por la empresa titular, atribuible a varios factores directos e indirectos que afectaban los procesos, especialmente de perforación y voladura. Los indicadores que afectaban directamente el cumplimiento del programa mensual de avance fueron:

1. Metros de avance por disparo
2. Número de disparos realizados

Estableciendo una función para representar lo mencionado; tenemos:

$$Y = f(X1, X2)$$

Con esta expresión podemos indicar que:

Y: Representa el cumplimiento al programa mensual de avance.

Es decir, es una medida o indicador que muestra qué tan bien se está cumpliendo con los objetivos del programa mensual de avance.

X1: Corresponde al número de disparos al día.

Este es un factor que influye en la variable Y, ya que la cantidad de disparos realizados diariamente puede afectar directamente la capacidad de cumplir con el avance programado.

X2: Representa los metros de avance por cada disparo. Esta variable también influye en Y, ya que indica cuánto avance se logra por cada disparo realizado.

Por lo tanto, se sugiere que el cumplimiento al programa mensual de avance (Y) depende de dos factores principales: el número de disparos al día (X1) y los metros de avance por cada disparo (X2). La función f representa la relación matemática o regla según la cual estos factores afectan el cumplimiento del programa de avance mensual.

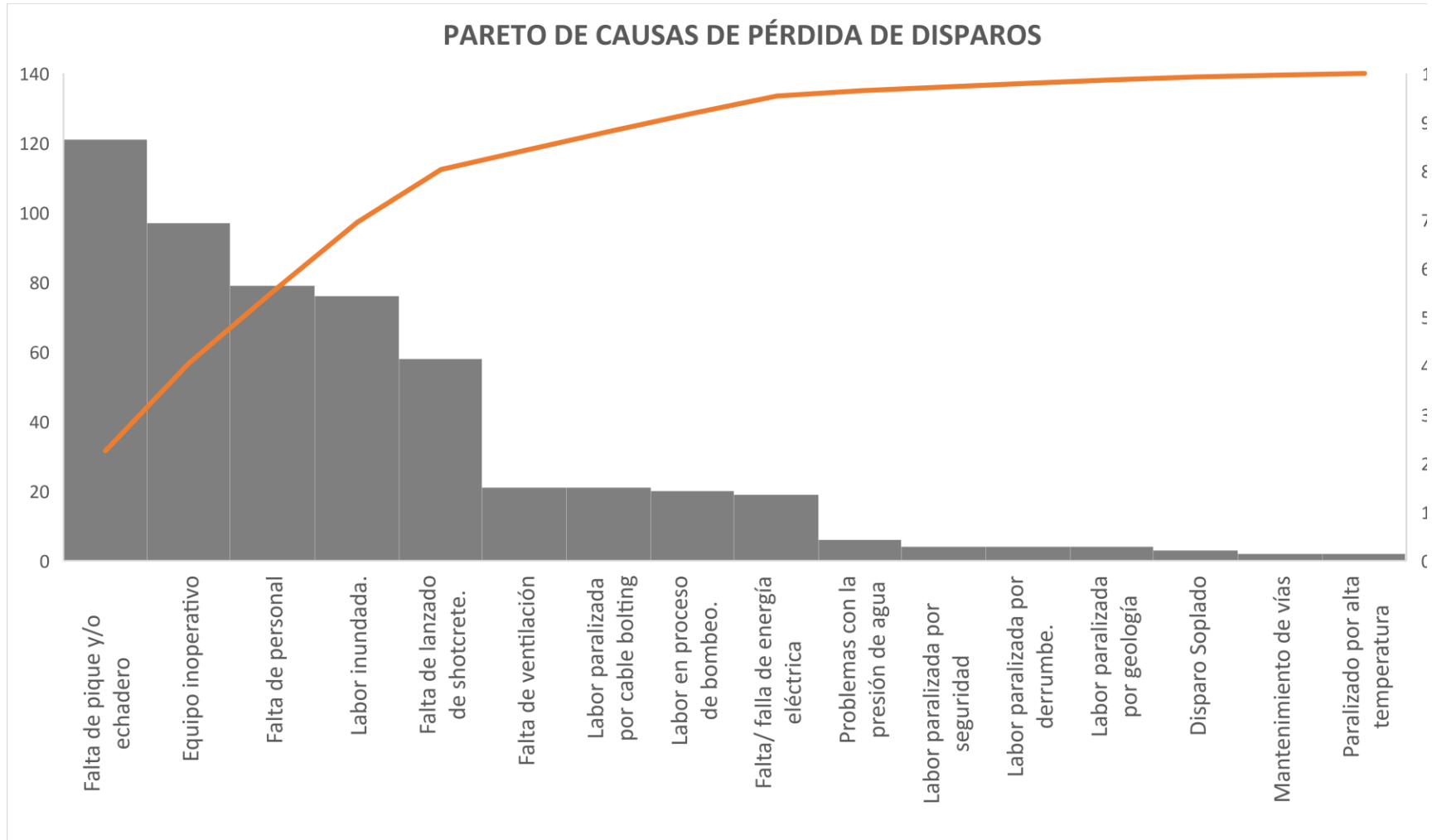
Con la definición de las variables; se recopiló información de cada uno para realizar un análisis de capacidad para identificar el nivel sigma actual y verificar si el desempeño del proceso cumple con las especificaciones del cliente.

3. Determinación de datos

Para realizar el análisis de las causas que afectan a la eficiencia del avance por disparo y el número de disparos; se tomaran los datos proporcionados por el área de costos referentes a los meses de julio y agosto del 2022.

4. Determinación de variables de entrada de las X iniciales**a) Número de disparos:**

Para abordar la identificación y priorización de problemas en nuestro proceso, se empleará el diagrama de Pareto (Figura 11). Este método es fundamental para clasificar y destacar las causas que afectan significativamente en la ejecución de disparos en frente completo, basándose en su frecuencia e impacto.

Figura 11*Diagrama de Pareto - Nro. disparos*

Fuente: Elaboración propia

Tras un exhaustivo análisis de la frecuencia de las causas que provocaron la pérdida de disparos durante los meses de julio y agosto de 2022, se elaboró un diagrama de Pareto. Este nos permitió identificar las causas responsables del 80% de dichas pérdidas.

Las principales causas detectadas fueron:

- Falta de pique y/o echadero para desmonte (23%)
- Equipo inoperativo (18%)
- Falta de personal (16%)
- Labor inundada (13%)

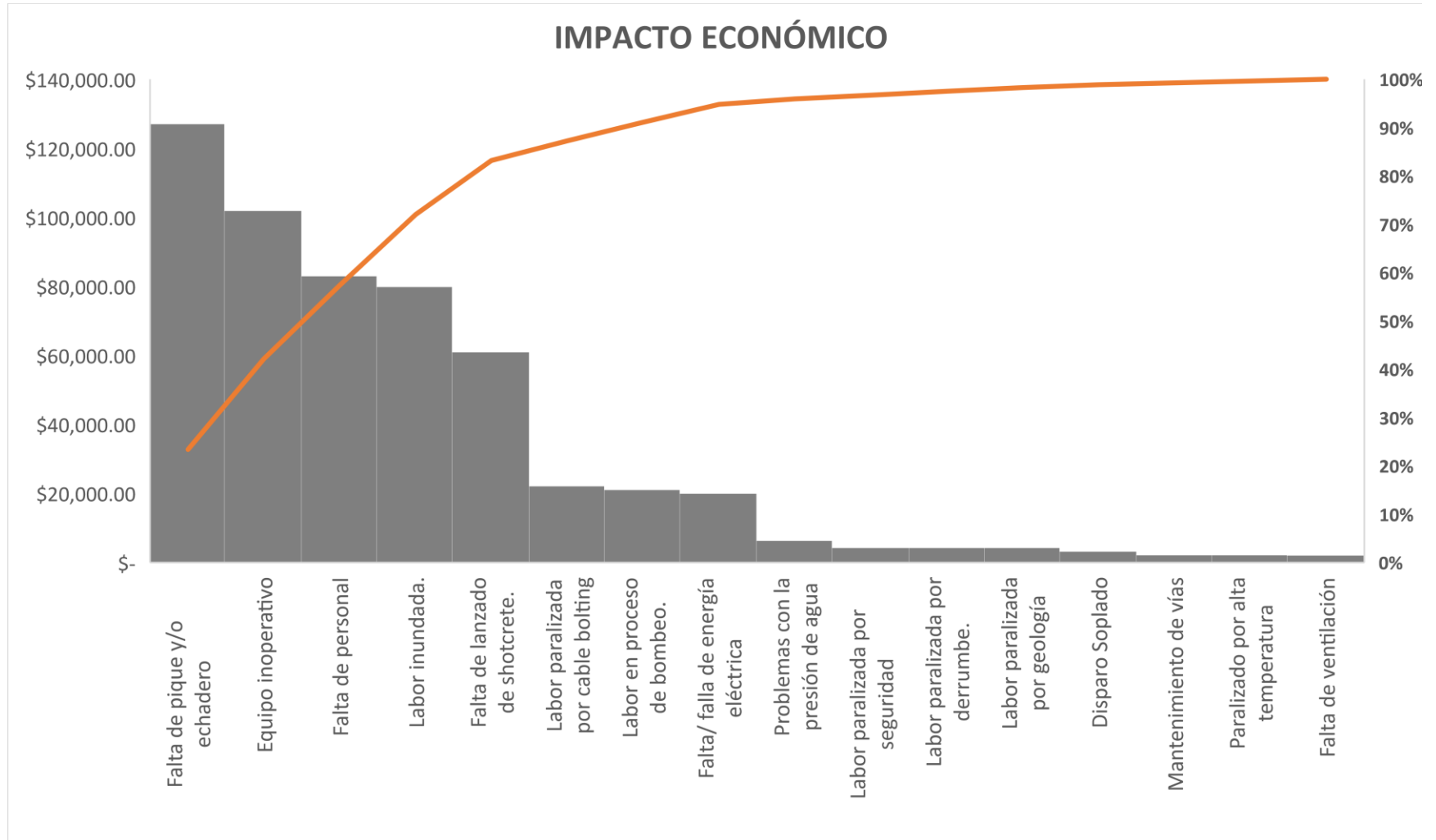
A continuación, presentamos un cálculo del impacto económico de las pérdidas de disparo por cada causa en los dos meses de medición y en la figura 12 se puede ver representado el Pareto:

Tabla 10

Impacto económico de las pérdidas de disparo

Causa	Nro. disparos perdidos	m/disparo	P.U promedio (\$/m)	Pérdida de venta (\$)
Falta de pique y/o echadero para desmonte.	121	3.5	300	127, 050
Equipo inoperativo	97	3.5	300	101, 850
Falta de personal	79	3.5	300	82, 950
Labor inundada.	76	3.5	300	79, 800
Falta de lanzado de shotcrete.	58	3.5	300	60, 900
Falta de ventilación	21	3.5	300	22, 050
Labor paralizada por cable bolting	21	3.5	300	22, 050
Labor en proceso de bombeo.	20	3.5	300	21, 000
Falta/ falla de energía eléctrica	19	3.5	300	19, 950
Problemas con la presión de agua	6	3.5	300	6, 300
Labor paralizada por seguridad y estandarización	4	3.5	300	4, 200
Labor paralizada por derrumbe.	4	3.5	300	4, 200
Labor paralizada por geología	4	3.5	300	4, 200
Disparo Soplado	3	3.5	300	3, 150
Mantenimiento de vías	2	3.5	300	2, 100
Paralizado por alta temperatura	2	3.5	300	2, 100

Fuente: Elaboración propia

Figura 12*Impacto Económico*

Fuente: Elaboración propia

La figura 12 es un diagrama de Pareto que ilustra el impacto económico de diversas causas de pérdida en el proceso. El eje vertical izquierdo muestra el impacto económico en términos monetarios, mientras que el eje vertical derecho muestra el porcentaje acumulado de impacto.

Siendo las Causas Principales:

- La falta de pique y/o echadero para desmonte es la causa principal, con un impacto económico de aproximadamente 140,000 dólares
- Equipo inoperativo, con un impacto de alrededor de 110,000 dólares
- La falta de personal con impactos de aproximadamente 82, 000 dólares
- La labor inundada con un impacto de 70,000 dólares

Las primeras cuatro causas (falta de pique y/o echadero, equipo inoperativo, falta de personal y labor inundada) representan alrededor del 80% del impacto total, lo que confirma el principio de Pareto: un pequeño número de causas (20%) genera la mayoría de los problemas (80%).

- **Falta de pique y/o echadero para desmonte**

La compañía minera priorizaba la extracción de mineral frente al desmonte, así como que la capacidad de la planta de desmonte en superficie se encontraba colmatada y no se tenía permitido utilizar áreas de almacenamiento de desmonte en interior mina ya que estas tenían que ser rellenadas con relleno hidráulico

Esta causa es un factor no controlable para la empresa contratista; ya que es responsabilidad directa de la compañía minera y las pérdidas de disparo por este problema son justificados en la valorización considerándose un improductivo.

- **Equipo inoperativo**

Este factor si es responsabilidad directa de la empresa contratista del estudio; los principales problemas de inoperatividad se dan en los equipos Scoop representando un problema para el ciclado adecuado y el uso efectivo del tiempo para que se llegue a tener un disparo exitoso.

- La falta de personal

La alta rotación del personal en especial de ayudantes de mina; dificulta tener las guardias completas teniendo un impacto negativo para poder ejecutar los trabajos de manera óptima.

Se puede hacer mención que la falta de personal se reflejaba también los días de cambio de guardia (jueves); ya que no se tiene un control actual del retorno del personal a obra en su primer día.

- La labor inundada

Este factor no es controlable para la empresa contratista ya que esta no tiene el control de la operación de las bombas; siendo responsabilidad directa de la compañía minera.

b) Avance por disparo

Con la finalidad de identificar las causas subyacentes para un deficiente avance por disparo; el equipo de trabajo tras un análisis y lluvia de ideas consideró realizar un diagrama de Ishikawa, dónde se permita organizar y representar visualmente las causas por cada categoría.

Figura 13

Diagrama Ishikawa del análisis de avance deficiente por disparo



Fuente: Elaboración propia

Para identificar los factores que afectan negativamente el rendimiento del proceso de avance por disparo, se elaboró un diagrama de Ishikawa o diagrama causa-efecto, estructurado en función del método de las 6M: Métodos de trabajo, Mano de obra, Maquinaria, Materiales, Medición y Medio ambiente. Esta herramienta permitió clasificar de forma sistemática las causas raíces que contribuyen al problema identificado: avance deficiente por disparo. A continuación, se describen las principales causas agrupadas por categoría:

Métodos de trabajo:

Se identificó que las deficiencias en la supervisión del área de voladura y la falta de estandarización de la malla de perforación afectan la precisión y efectividad del disparo. Estos factores generan errores en el diseño y ejecución del ciclo de voladura.

Mano de obra:

La falta de experiencia y capacitación del personal operativo (operadores, cargadores, ayudantes), junto con deficiencias en la gestión de contratación y supervisión, limitan la ejecución adecuada del ciclo de perforación y voladura. El desconocimiento de los programas de mantenimiento también impide una operación segura y eficiente.

Maquinaria:

Se evidenció la presencia de equipos de perforación desgastados o con deficiencias, así como presiones inadecuadas por mal estado del centralizador, lo cual compromete la calidad del barrenado y la efectividad del disparo.

Materiales:

Factores como el almacenamiento inadecuado de explosivos y accesorios, la falta de materiales en labores programadas, y el uso de accesorios de iniciación inadecuados, afectan directamente la estabilidad y potencia del disparo.

Medición:

La ausencia de análisis de fallos y lecciones aprendidas luego de incidentes, así como la falta de registros de control de calidad, dificultan la retroalimentación técnica para mejorar el proceso y evitar la repetición de errores.

Medio ambiente:

Condiciones geológicas como el cambio súbito en la competencia de la roca, la presencia de fallas estructurales, geodas o filtraciones de agua, y labores con radios de giro limitan el control del diseño de la voladura y generan una respuesta no uniforme del macizo rocoso.

5. El Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

Con la finalidad de profundizar el análisis y hallar las causas con mayor potencial realizaremos un análisis AMEF para identificar y evaluar posibles fallos en procesos, productos o sistemas, permitiendo tomar acciones preventivas antes de que ocurran.

Tabla 11*Análisis AMEF del proceso*

Función del proceso	Falla potencial	Efecto (s) de la falla potencial	Sev	Causas/ mecanismo de falla potencial	Ocu	Controles actuales del proceso para detección	Det	Acciones recomendadas	Responsable
Personas	Supervisión deficiente del área de voladura	Disminución en la eficiencia operativa	6	Deficiencias en los procedimientos y protocolos de supervisión	5	Retroalimentación verbal	7	Implementación de procedimientos estandarizados y protocolos claros	Residente de Obra
	Supuestos erróneos sobre las competencias del personal operadores, cargadores y ayudantes	Aumento de errores y retrabajos	7	Falta de identificación de brechas de conocimiento	6	Participación del personal en los repartos de guardia	6	Diseñar programas de capacitación personalizados y relevantes	Jefe de voladura
	Falta de experiencia en operadores, cargadores y ayudantes	Problemas de calidad en los disparos	7	Recursos de capacitación limitados	7	Retroalimentación al personal	6	Implementar programas de mentoría	Residente de Obra
	Falta de personal	Menos atención al detalle	7	Alta rotación de personal	7	Contratación por prioridad	7	Evaluar el procedimiento de gestión de contratación	Administración /residencia
Materiales	Almacenamiento inadecuado de explosivos y accesorios	Pérdida de potencia	7	Horario de atención en polvorín para devolución de remanentes	6	Utilizar mochilas porta explosivos para remanentes	6	Gestionar la implementación de un polvorín adicional/ ser más precisos con la solicitud de explosivos y accesorios	Residente de Obra
	Accesorios de iniciación inadecuados	Detonación Incompleta	7	Uso de accesorios inadecuados para las condiciones específicas de la voladura	5	Emisión de informes al área de PV de CÍA	4	Asegurarse de que los materiales cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos	Jefe de voladura
Proceso	Falta de registros de control de calidad	Dificultad para identificar y corregir problemas recurrentes en el proceso de voladura	7	Falta de sistemas o procedimientos adecuados para registrar y almacenar datos de control de calidad.	7	Base de datos de avance	6	Desarrollar y aplicar procedimientos estandarizados para la documentación de control de calidad	Jefe de voladura

	Falta de estandarización de malla de perforación	Voladura ineficaz	8	No se cuenta con mallas de perforación específicas	7	Se trabaja con mallas de perforación de la contratista de voladura	6	Crear y seguir diseños de mallas estandarizados adaptados a las condiciones específicas	Jefe de voladura
	No realizar análisis de fallos y lecciones aprendidas después de los incidentes	Cultura de complacencia	7	No se cuenta con procedimientos para el análisis de fallos en avances deficientes	6	Reportes en repartos de guardia	4	Implementar un procedimiento para el análisis de fallos en avances deficientes	Jefe de voladura
	Cambio brusco de terreno	Retrasos en el ciclo de producción debido a la necesidad de ajustar los planes de voladura.	6	Presencia de fallas geológicas, vetas o fracturas que no se detectaron previamente.	7	Reportes del área de geomecánica	5	Establecer protocolos claros para la comunicación de cambios en las condiciones del terreno y la adaptación de los planes	Residente de Obra
Entorno	Labores con presencia de radio de giro	Complicaciones para realizar perforaciones precisas debido a la geometría curva de las labores	7	Planificación y diseño de las labores sin considerar adecuadamente los radios de giro necesarios.	5	Reportes del área de geomecánica	5	Proporcionar capacitación especializada al personal sobre las mejores prácticas para trabajar en labores con radio de giro	Jefe de voladura
	Desconocimiento del programa de mantenimiento por parte de la supervisión operativa	Disminución de la productividad debido a interrupciones frecuentes por fallas de equipos	7	Deficiente comunicación entre el equipo de mantenimiento y la supervisión operativa.	6	Realizar reuniones regulares para revisar el programa de mantenimiento y discutir su cumplimiento.	6	Asegurar que el programa de mantenimiento esté bien documentado y sea accesible para todo el personal operativo.	Jefe de mantenimiento
Equipo	Mantenimiento inadecuado de equipo de perforación	Ineficiencia en el proceso de perforación, afectando la calidad y precisión de las voladuras.	8	Ausencia de un programa de mantenimiento preventivo bien definido.	7	Revisiones periódicas del equipo de perforación	7	Desarrollar e implementar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo bien definido	Jefe de mantenimiento
	Centralizador gastado y presiones inadecuadas en equipos de perforación	Las perforaciones pueden desviarse de las trayectorias planeadas	7	Uso prolongado de los centralizadores y componentes de perforación sin un mantenimiento adecuado.	6	Revisiones periódicas del equipo de perforación	6	Planificar y programar revisiones regulares y sistemáticas del equipo de perforación.	Jefe de mantenimiento

Fuente: Reunión del comité de excelencia operativa

Tras haber realizado el análisis se identificó los efectos de fallas y cuantificar el N.P.R (Número de prioridad de riesgo). Un NPR alto indica que el modo de falla tiene un riesgo significativo y debe ser abordado con urgencia.

Los efectos de falla con mayor NPR son:

- Falta de personal
- Falta de estandarización de malla de perforación
- Mantenimiento inadecuado de equipo de perforación
- Falta de experiencia en operadores, cargadores y ayudantes

6. Mapeo de procesos

Con el equipo de trabajo se realizará una representación visual clara y detallada del proceso tal como existe actualmente. Esto permitirá comprender a fondo el flujo de trabajo y las actividades involucradas en cada etapa para identificar los puntos críticos donde pueden estar ocurriendo las desviaciones que impiden el cumplimiento del programa mensual de avance.

En la figura 14, se observa el mapa de procesos cuyo objetivo es el cumplimiento con el programa mensual de avance.

El proceso se inicia con la entrada de la guardia entrante y el pintado del eje. Luego, se realiza la perforación con jumbo, carga de explosivos y finalmente el chispeo y voladura.

Se especificó parámetros como las siguientes:

- Labores programadas: Deben estar claras y definidas para la guardia entrante.
- Frente limpio y sostenido: El importante que frente de trabajo debe estar limpio de material disparado y sostenido según recomendación geomecánica y se haya cumplido el tiempo de fraguado para poder iniciar la perforación.
- Experiencia del operador: Es un parámetro crítico la experiencia del operador de jumbo.
- Materiales disponibles: La disponibilidad en las bodegas y labores de los materiales para todo el proceso.
- Selección adecuada de explosivos y accesorios: Se deben seleccionar los explosivos y accesorios adecuados para el tipo de roca y la malla de perforación.

- Presiones de avance y percusión: Las presiones de avance y percusión deben ser las adecuadas para la perforación eficiente.
- Condiciones del ambiente: Se deben tener en cuenta las condiciones del entorno ya que pueden complicar la operación y reducir la efectividad del disparo.

7. Capacidad de procesos

La capacidad de proceso en esta fase “medir” es fundamental para comprender el desempeño actual, establecer una línea de base para mejoras, identificar y reducir la variabilidad, y tomar decisiones basadas en datos, Siendo un indicador de calidad para la mejora continua.

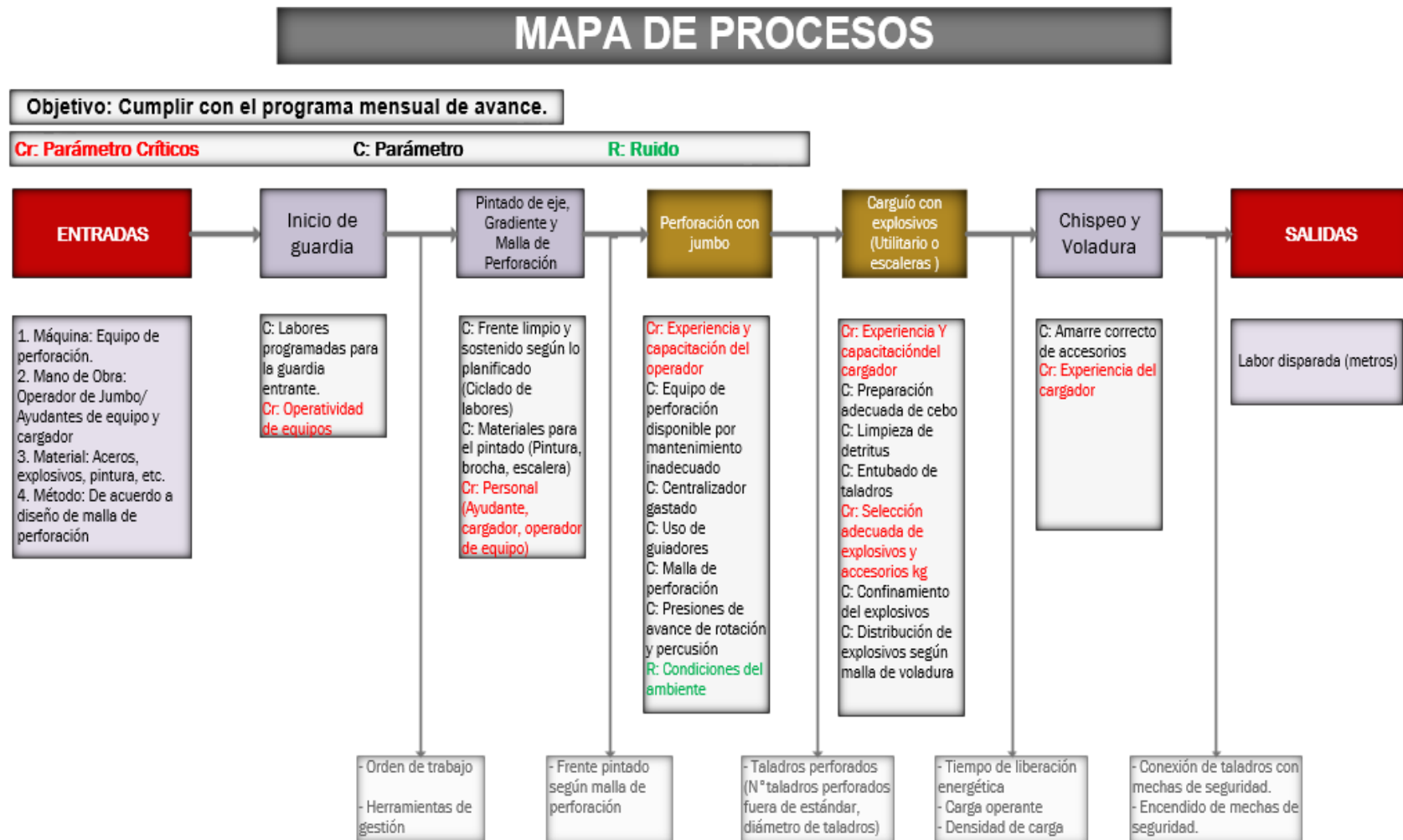
a) Capacidad de proceso de número de disparos

Con la finalidad de evaluar la capacidad del proceso del número de disparos al día como línea base; se hará uso del software de estadística Minitab y trabajaremos con los datos de dos meses de medición.

Para realizar el cálculo se consideró como límite mínimo de especificación (LEI) 8 disparos al día; es decir 4 disparos por guardia en frente completo esto con la finalidad de cumplir con el programa establecido, como se muestra en la imagen 15.

Figura 14

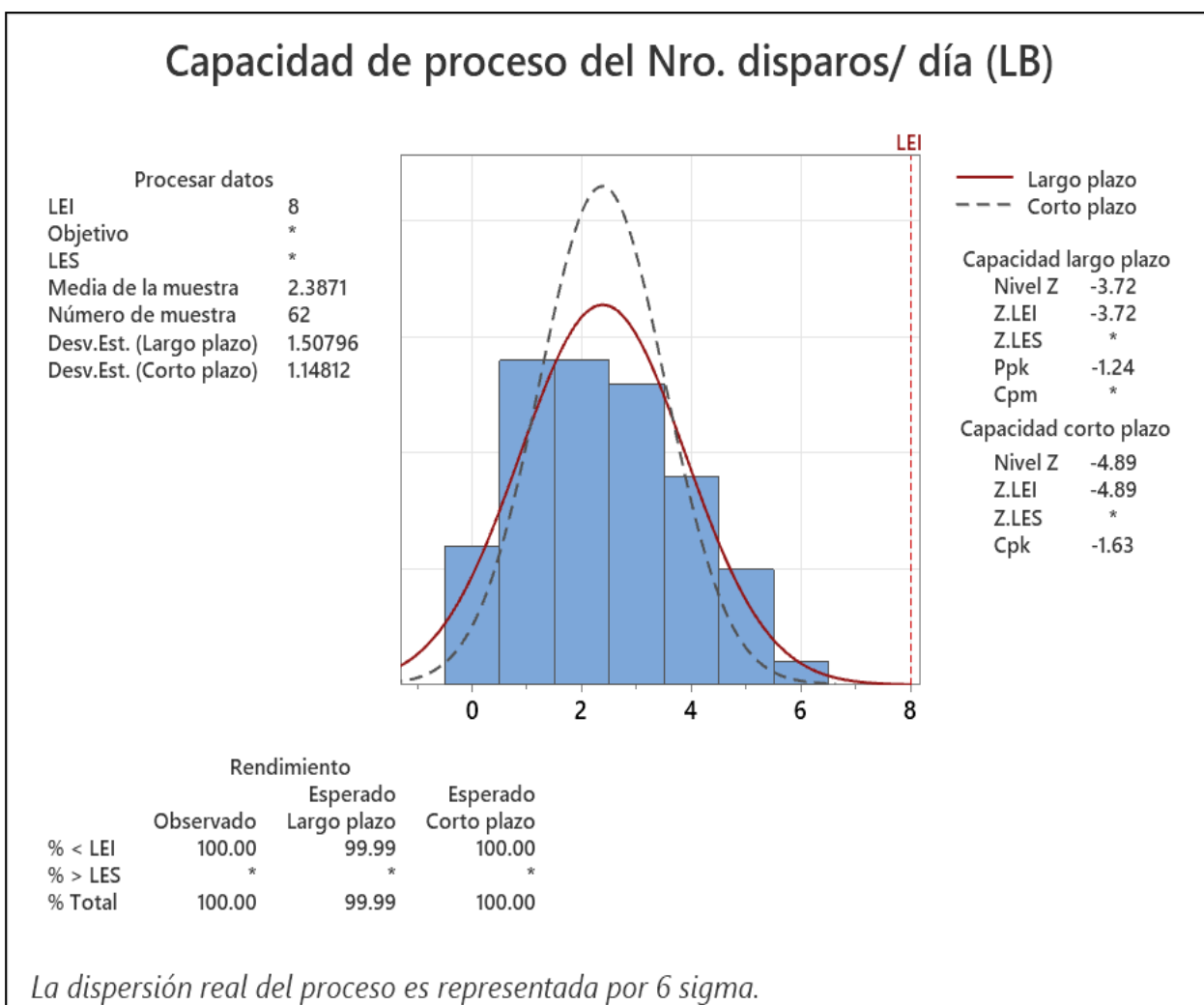
Mapa de procesos



Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Capacidad de proceso del Nro. disparos/ día (LB)



Fuente: Elaboración propia

Este gráfico evalúa qué tan bien está funcionando el proceso que mide el número de disparos por día y si cumple con los estándares esperados.

Mediante la capacidad de proceso se mide que el promedio del proceso está en 2.39 disparos por día, pero hay mucha variación (algunos días menos, otros más). Sin embargo, el límite mínimo esperado (LEI) es 8 disparos por día, y el proceso no alcanza este valor.

Los resultados a largo plazo (línea roja) según la gráfica muestran que el desempeño está lejos del objetivo demostrando que el proceso no tiene la capacidad de cumplir con los estándares.

En los resultados a corto plazo (línea punteada) se observa que la situación es aún peor sin llegar a acercarse al límite esperado.

A continuación, se explicará cada elemento del gráfico con mayor detalle:

Este gráfico nos proporciona una visión detallada de la capacidad de un proceso específico, en este caso, el número de "disparos" por día (LB).

La capacidad de un proceso se refiere a su habilidad para cumplir con las especificaciones establecidas, es decir, si el proceso está produciendo resultados dentro de los límites permitidos.

Elementos clave del gráfico:

- **Histograma:** La columna azul representa la distribución de los datos reales. Cada barra muestra la frecuencia con la que se ha obtenido un determinado número de disparos por día.
- **Curvas Normales:** Las líneas curvas representan la distribución normal esperada para el proceso a largo y corto plazo. Estas curvas nos ayudan a comparar el desempeño real del proceso con lo que se esperaría si todo funcionara perfectamente.
- **LEL y LES:** Estos son los límites de especificación inferior y superior, respectivamente. Son los valores máximos y mínimos aceptables para el número de disparos por día.
- **Z.LEI y Z.LES:** Estos valores indican cuántas desviaciones estándar se encuentran los límites de especificación respecto a la media del proceso.
- **Cpk:** Este es el índice de capacidad de proceso. Mide la capacidad del proceso en relación a las especificaciones, tanto superior como inferior.

Interpretación

- **Centrado del proceso:** El centro de la distribución de datos (la media) se encuentra bastante cerca del objetivo a largo plazo. Esto sugiere que, en promedio, el proceso está produciendo el número de disparos deseado.

- **Dispersión:** La dispersión de los datos, representada por la amplitud del histograma, es relativamente baja. Esto indica que los resultados del proceso son bastante consistentes.
- **Capacidad a largo plazo:** El índice de capacidad a largo plazo (C_{pk}) es relativamente bajo. Esto sugiere que, aunque el proceso está centrado, existe la posibilidad de que ocasionalmente se produzcan resultados fuera de las especificaciones.
- **Capacidad a corto plazo:** El índice de capacidad a corto plazo (C_{pk}) también es bajo, pero ligeramente mejor que el a largo plazo. Esto indica que a corto plazo el proceso es un poco más capaz de cumplir con las especificaciones.
- **% < LEL y % > LES:** Estos valores indican el porcentaje de datos que caen por debajo del límite inferior y por encima del límite superior, respectivamente. En este caso, el 100% de los datos están dentro de los límites, lo cual es un buen indicador.

b) Capacidad de proceso de avance por disparo

Para el cálculo de la capacidad del proceso de avance por disparo como línea base se tomó como límite mínimo de especificación 3.5 m.

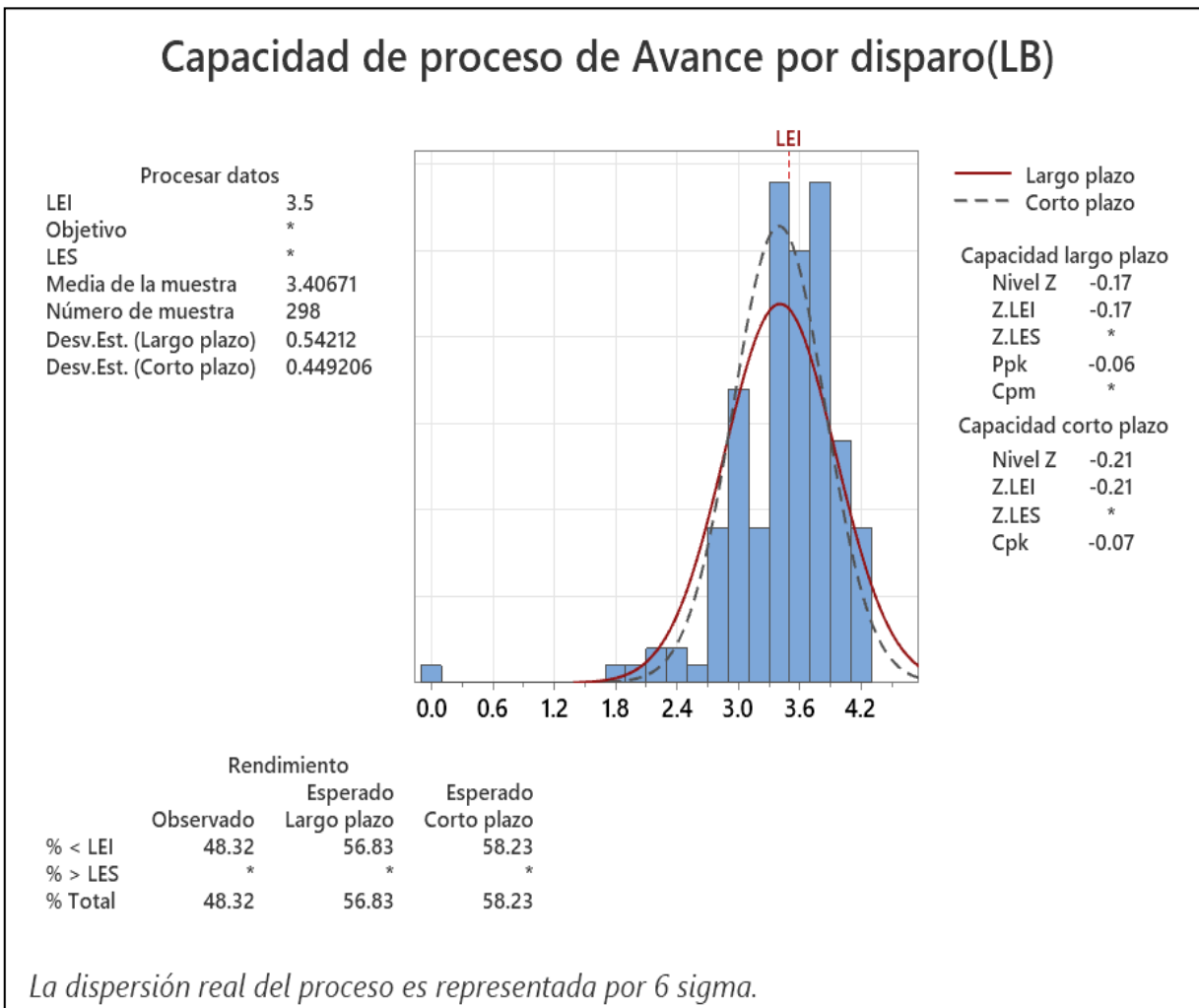
En la imagen 30 que se muestra a continuación tenemos que el avance por disparo promedio (3.40 m) está muy cerca del estándar mínimo (3.50 m), pero no lo cumple del todo; por lo tanto, el proceso necesita ajustes para garantizar que cumpla con el objetivo en la mayoría de los casos.

En el gráfico se puede observar que la capacidad del proceso (P_{pK}) es -0.06; lo que da por significar el proceso no cumple con las especificaciones inferiores al estar en negativo y el rendimiento se encuentra aproximadamente en 48.32% lo que significa que los disparos se encuentran por debajo del Límite de especificación inferior (3.5m).

Este gráfico nos proporciona una visión detallada de la capacidad de un proceso específico, en este caso, el "avance por disparo" (LB). En términos simples, nos dice si el proceso está produciendo resultados dentro de los límites que se han establecido como aceptables.

Figura 16

Capacidad de proceso de Avance por disparo (LB)



Fuente: Elaboración propia

Elementos clave del gráfico:

- **Histograma:** Las barras azules representan la distribución de los datos reales. Cada barra muestra cuántas veces se ha obtenido un cierto valor de avance por disparo.
- **Curvas Normales:** Las líneas curvas representan la distribución normal esperada para el proceso a largo y corto plazo. Sirven como referencia para comparar el desempeño real con lo ideal.

- **LEI y LES:** Son los límites de especificación inferior y superior, respectivamente. Estos son los valores mínimo y máximo aceptables para el avance por disparo.
- **Media de la muestra:** Es el valor promedio de todos los datos. En este caso, está ligeramente por debajo del objetivo.
- **Desviación estándar:** Mide la dispersión de los datos. Una desviación estándar alta indica que los valores están muy dispersos alrededor de la media.
- **Cpk:** Es el índice de capacidad de proceso. Mide qué tan bien el proceso se ajusta a las especificaciones. Un valor de Cpk mayor a 1 indica que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones.

Interpretación General:

- **Centrado:** El proceso está ligeramente descentrado, la media está por debajo del objetivo.
- **Variabilidad:** La variabilidad del proceso es relativamente alta, ya que la distribución de los datos es bastante amplia.
- **Capacidad:** Tanto el Cpk a largo plazo como a corto plazo son negativos, lo que indica que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones.

El proceso no está funcionando como debería: La mayoría de los datos están por debajo del límite inferior de especificación, lo que significa que el avance por disparo es menor de lo esperado en la mayoría de los casos.

Existe una alta variabilidad: La dispersión de los datos es muy amplia, lo que sugiere que hay factores que están causando que los resultados varíen mucho de un caso a otro.

Se requieren mejoras: Es necesario identificar y corregir las causas de esta baja capacidad y alta variabilidad para asegurar que el proceso cumpla con los requisitos establecidos.

4.1.3. Fase Analizar

La fase de analizar es una etapa crucial dentro de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) de Lean Six Sigma. En esta fase, el equipo del proyecto se enfoca en comprender a profundidad las causas raíz de los problemas identificados en las fases anteriores. Los objetivos de la fase analizar es:

- Seleccionar y priorizar las variables clave del proceso
- Establecer relaciones entre X e Y
- Validar las causas raíces (X) que afectan a Y

4.1.3.1. Análisis de los Datos Recopilados

Se realizará la revisión y el análisis de los datos obtenidos en la fase de Medir para entender mejor el comportamiento del proceso.

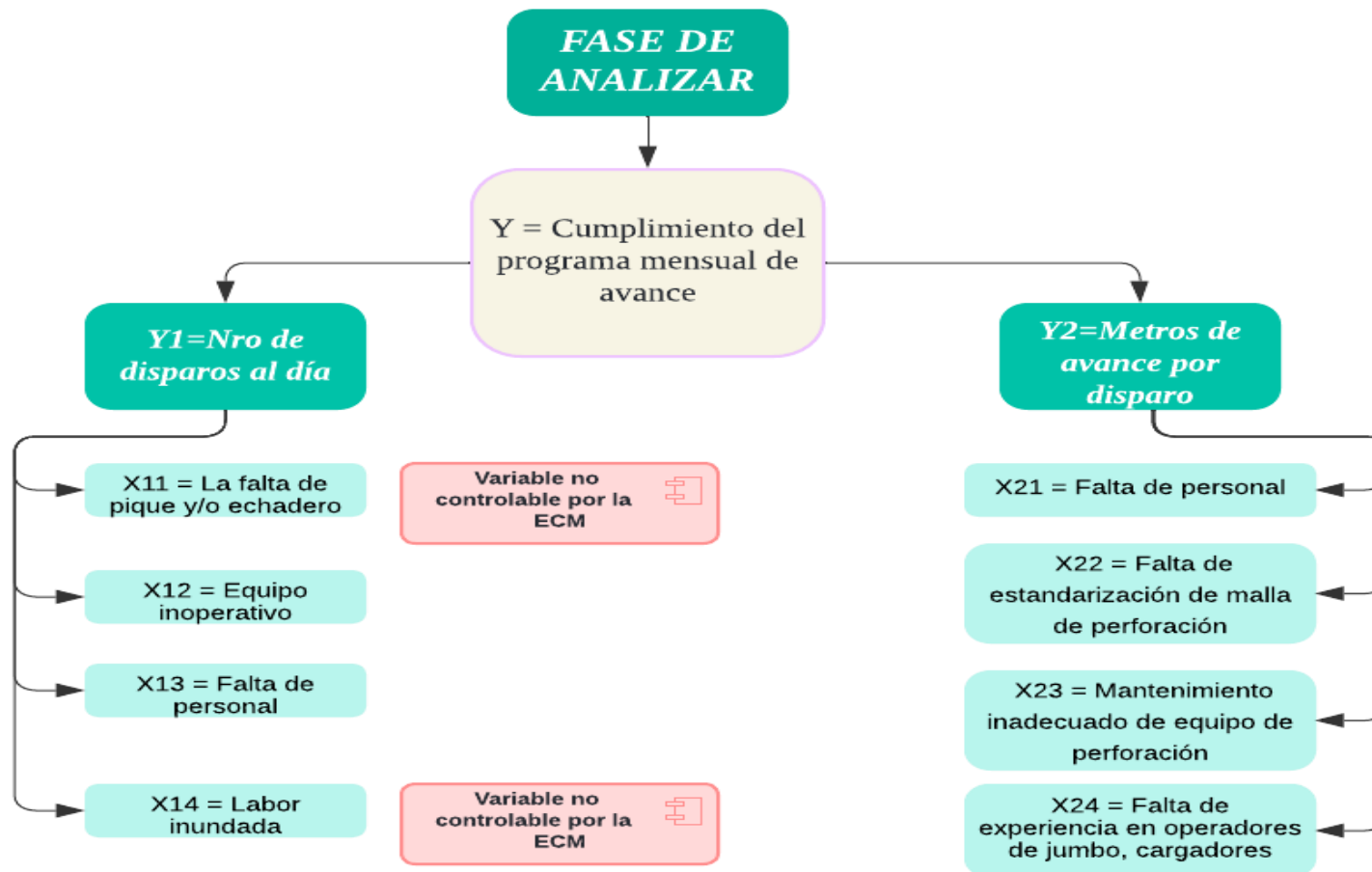
Se realizó una gráfica, con la finalidad de estructurar y visualizar las causas potenciales que influyen en las dos métricas clave que impactan el cumplimiento del programa mensual de avance. A través de la identificación de causas (factores X), se puede analizar cómo estas afectan los resultados (Y) y qué variables son controlables o no controlables por la organización.

Como se especifica en el diagrama siguiente; existen variables de entrada detectadas en la fase medir que no son controlables por la empresa contratista ya que su tratamiento depende de la compañía minera y al momento de realizar la valorización mensual se sustenta como improductivo; previa aprobación del dueño de contrato.

En la gráfica que continúa se detalla las variables que se está considerando para realizar el análisis.

Para el caso del indicador de Nro. de disparos al día se consideró:

- La falta de pique o echadero, es una variable no controlable por la empresa contratista minera, ya que la gestión es netamente de compañía minera.
- Equipo inoperativo: Es una causa que depende de la empresa contratista minera
- Falta de personal: Es una causa cuya gestión depende de la empresa contratista.
- Labor inundada: Es una variable no controlable por la empresa contratista y los disparos afectados por esta causa con atribuibles a la compañía minera

Figura 17*Fase de analizar – variables de entrada*

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2. Identificación de causas potenciales y análisis de causa raíz

A continuación, se procederá a realizar un análisis detallado de las diferentes variables de entrada con el objetivo de identificar posibles causas y, en última instancia, determinar la causa raíz del problema. Este proceso es fundamental para garantizar que todas las variables relevantes sean consideradas y que se pueda abordar de manera eficaz la situación que ha generado la inquietud.

En particular, se centrará en la variable relacionada con el número de disparos por día. Para este caso específico, se evaluarán dos variables clave: el equipo inoperativo y la falta de personal. Estas variables serán analizadas utilizando herramientas metodológicas como el diagrama de Ishikawa, conocido por su capacidad para estructurar y visualizar las posibles causas de un problema, y el análisis de los "5 porqués", que ayuda a profundizar en la identificación de la causa raíz.

Como parte de este análisis, se desarrollará un formato estructurado que documentará los resultados obtenidos

a) Análisis de variables (X) para la (Y) Número de disparos al día

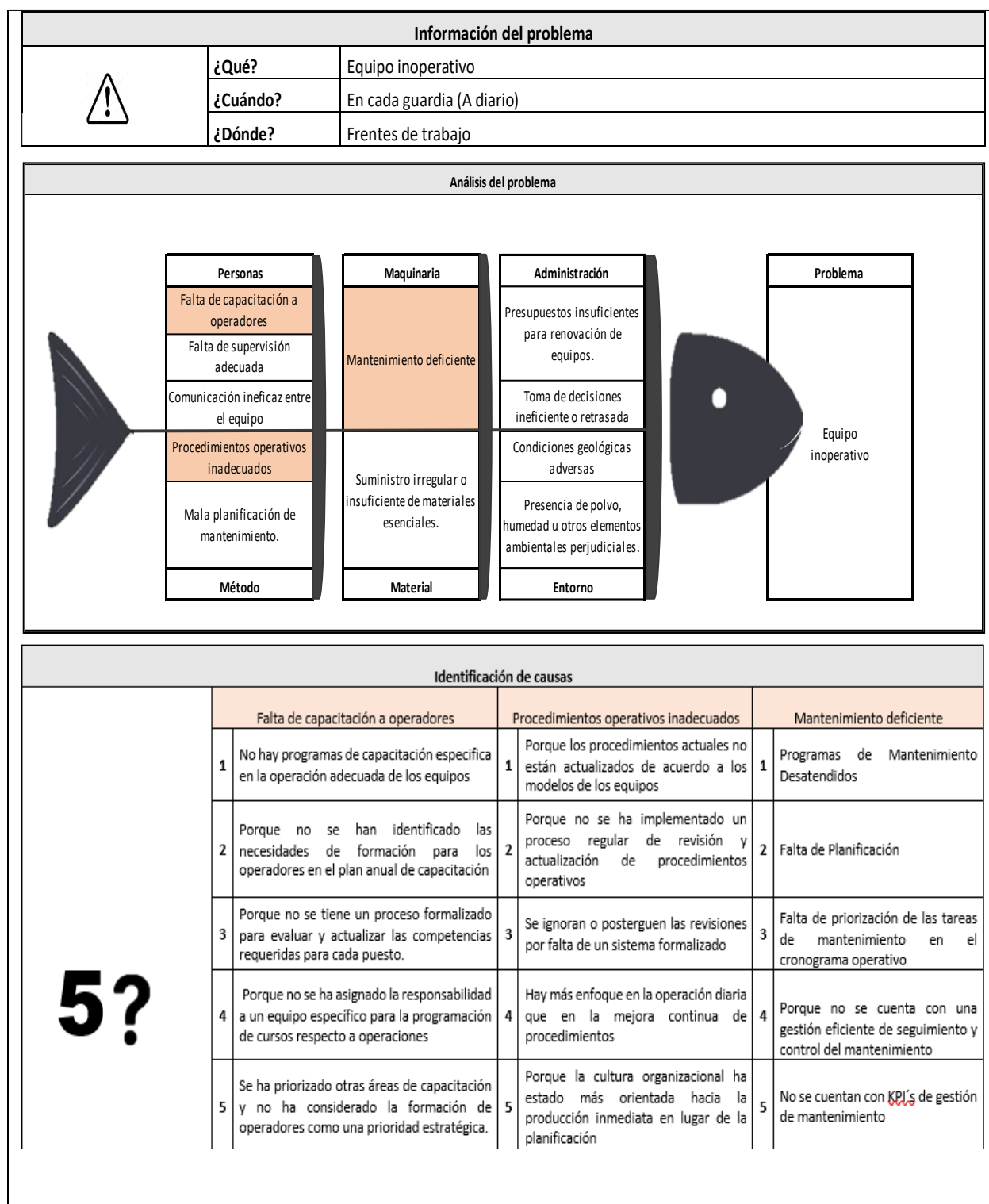
X12. Equipo inoperativo

En la figura 18 mediante el análisis del diagrama de Ishikawa por el equipo de trabajo para el problema de equipo inoperativa se consideró 3 causas principales:

- Falta de capacitación a operadores
- Procedimientos operativos inadecuados
- Mantenimiento deficiente

De estos 3 puntos se identificaron las causas básicas mediante la herramienta del 5 por qué; lo cual resulta en las siguientes causas raíz:

- Se ha priorizado otras áreas de capacitación y no ha considerado la formación de operadores como prioridad estratégica.
- La cultura organizacional ha estado más orientada hacia la producción inmediata en lugar de la planificación.
- No se cuentan con KPI's de la gestión de mantenimiento.

Figura 18*Análisis de causas de equipo inoperativo*

Fuente: Elaboración propia

X13. Falta de personal

En la figura 19, el equipo de trabajo realizó el análisis de causas, siendo el problema o la variable de entrada la falta de personal en los frentes de trabajo.

Las causas principalmente detectadas para la falta de personal fueron:

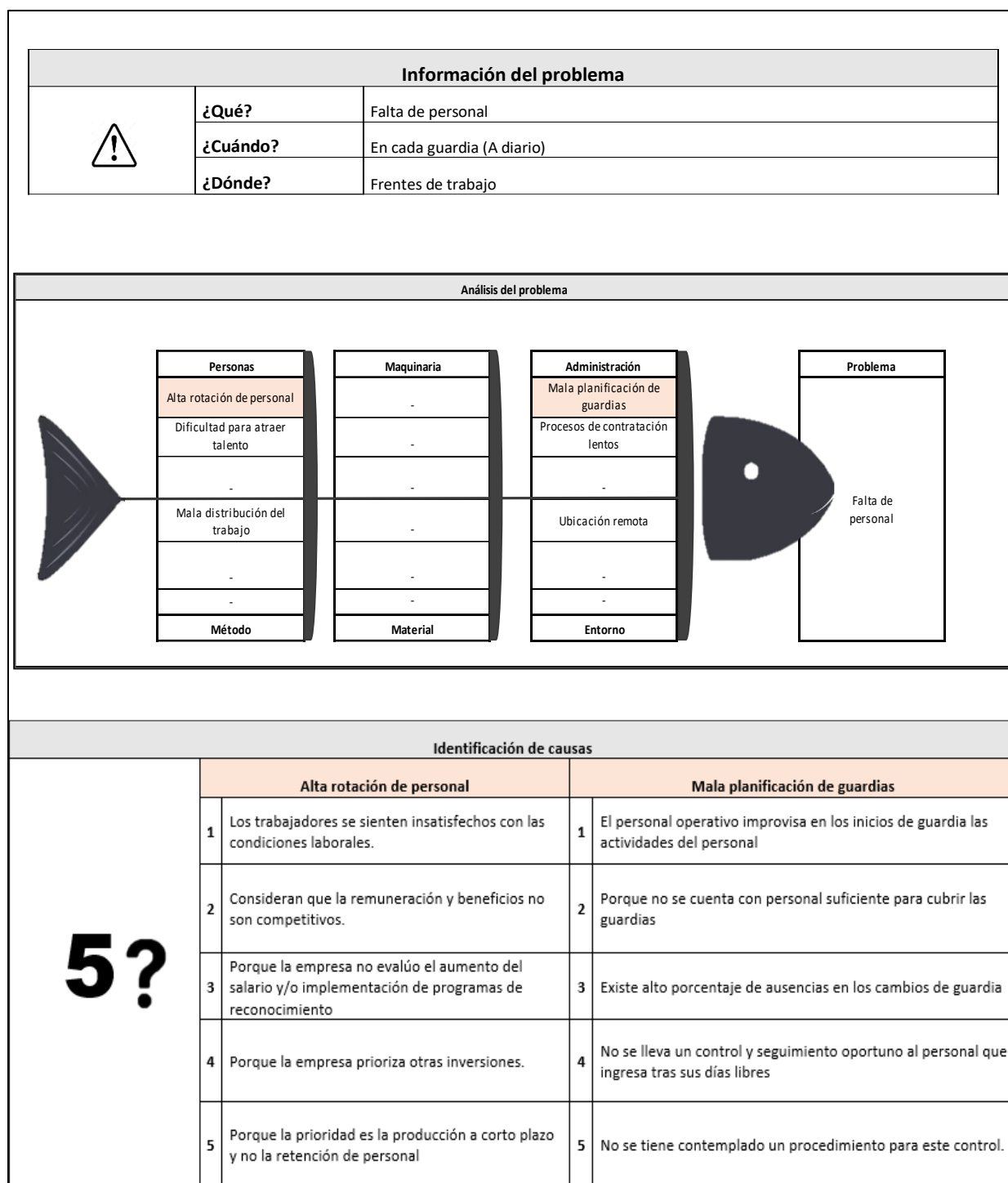
- Alta rotación de personal: Se observa que existe alta rotación de personal en las guardias, especialmente de ayudantes y perforistas que afecta considerablemente en la ejecución de los trabajos en el turno; teniendo que priorizar actividades e incumplir pasos en el procedimiento o dando actividades extras al perforista que impide que ejecute sus actividades con la calidad requerida.
- Mala planificación de guardias En los días de cambios de guardia; existe ausencia de personal esto debido a faltas y permisos no planificados, lo que obliga a improvisar las guardias según los recursos presentes.

Continuando con las preguntas de los 5 porqué, se identificó como causas raíz las siguientes:

- No existe programas de retención de personal: Se llegó a la conclusión que en la empresa contratista no existen programas que incentiven la retención del personal mediante evaluaciones de desempeño, oportunidades de crecimiento y capacitación constante.
- No se tiene contemplado un procedimiento para el control y planificación en cambios de guardia en el área de administración y recursos humanos, con la finalidad de prever imprevistos con anticipación como son las faltas y/o permisos, realizando las consultas al personal en los días cercanos al cambio de guardia y generando gestión de consecuencias al personal que presente faltas injustificadas.

Figura 19

Análisis de causa de falta de personal



Fuente: Elaboración propia

b) Análisis de variables (X) para la (Y) Avance por disparo

Usando la gráfica de efectos principales se realizará el análisis de los factores que suponemos tienen un impacto en el indicador de avance por disparo.

Siendo estas variables de entrada las siguientes:

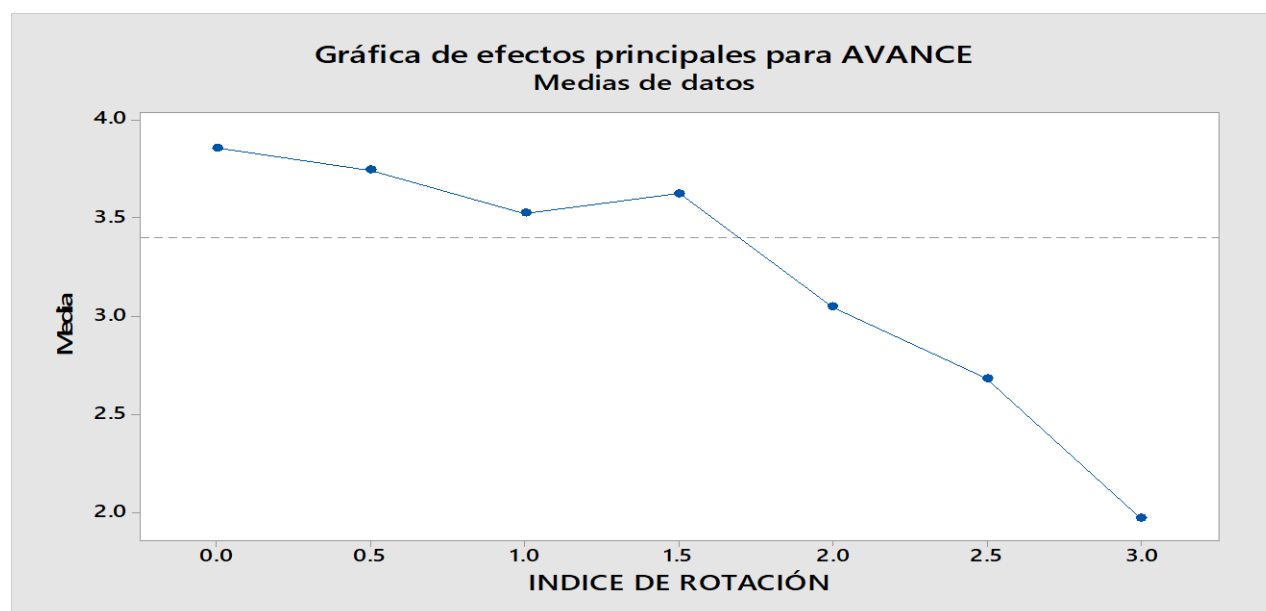
- Índice de rotación del personal
- Falta de estandarización de malla de perforación
- Mantenimiento inadecuado de equipo de perforación
- Falta de experiencia de operadores de jumbo y cargadores

1. Índice de rotación del personal

El índice de rotación de personal nos permite saber la cantidad de personal que se retira de la empresa, estos datos son brindados por el área de administración de manera semanal, y a continuación se observa el comportamiento del índice de rotación con el promedio de avance.

Figura 20

Gráfico de efectos principales para avance



Fuente: Elaboración propia

En la figura 20 observamos en el eje X el “índice de rotación” y en el eje Y “La media de avance (m)”, ambos datos fueron recabados de manera semanal.

Con la ayuda de está gráfica de efectos principales, podemos observar que a mayor índice de rotación (Eje X), corresponde un menor promedio de avance (Eje Y), pudiendo observar que la falta de personal afecta considerablemente al desempeño del avance de cada disparo.

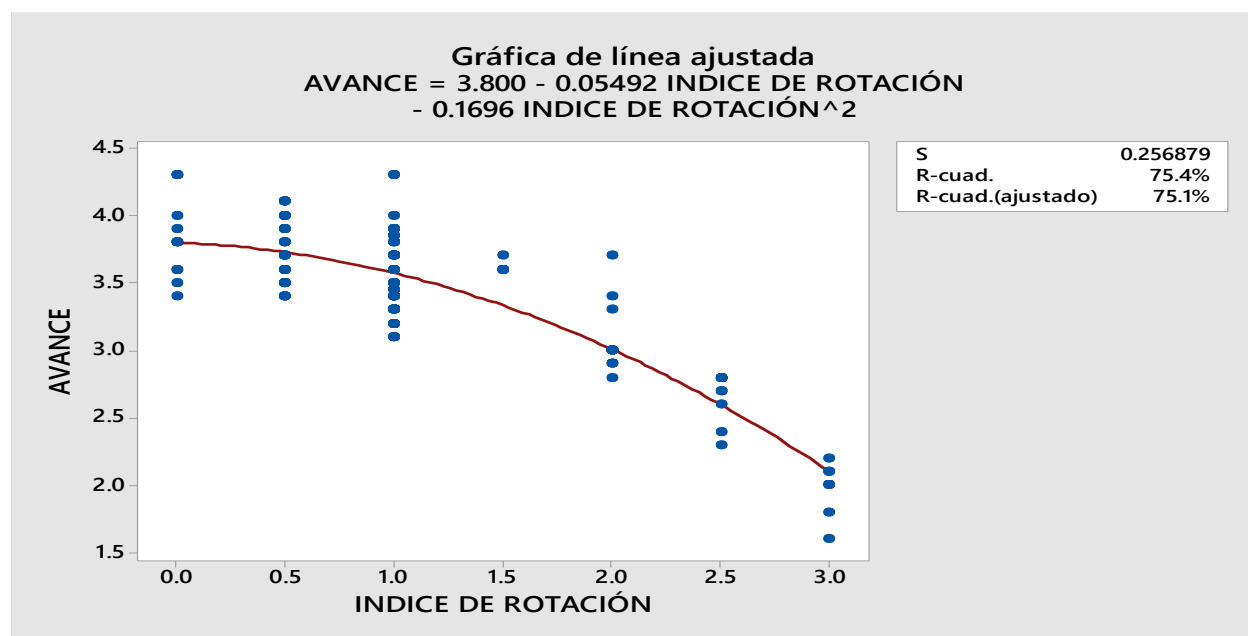
A continuación, en la figura 35 se mostrará la relación numérica entre el avance y el índice de rotación que se planteará mediante una ecuación con la ayuda de la herramienta de línea ajustada para modelar la relación, se optó por una ecuación cuadrática ya que el valor de R-cuadrado es mayor a una ecuación lineal.

La ecuación ajustada es:

$$\text{AVANCE} = 3.800 - 0.05492 \text{ INDICE DE ROTACIÓN} - 0.1696 \text{ INDICE DE ROTACIÓN}^2$$

Figura 21

Gráfica de línea ajustada



Fuente: Elaboración propio

La figura 21 sugiere que, conforme el índice de rotación aumenta, el avance tiende a disminuir de manera significativa, especialmente a niveles altos de rotación (por encima de 1.5). Esto implica que un aumento en la rotación de personal podría estar asociado con una disminución en el rendimiento del avance.

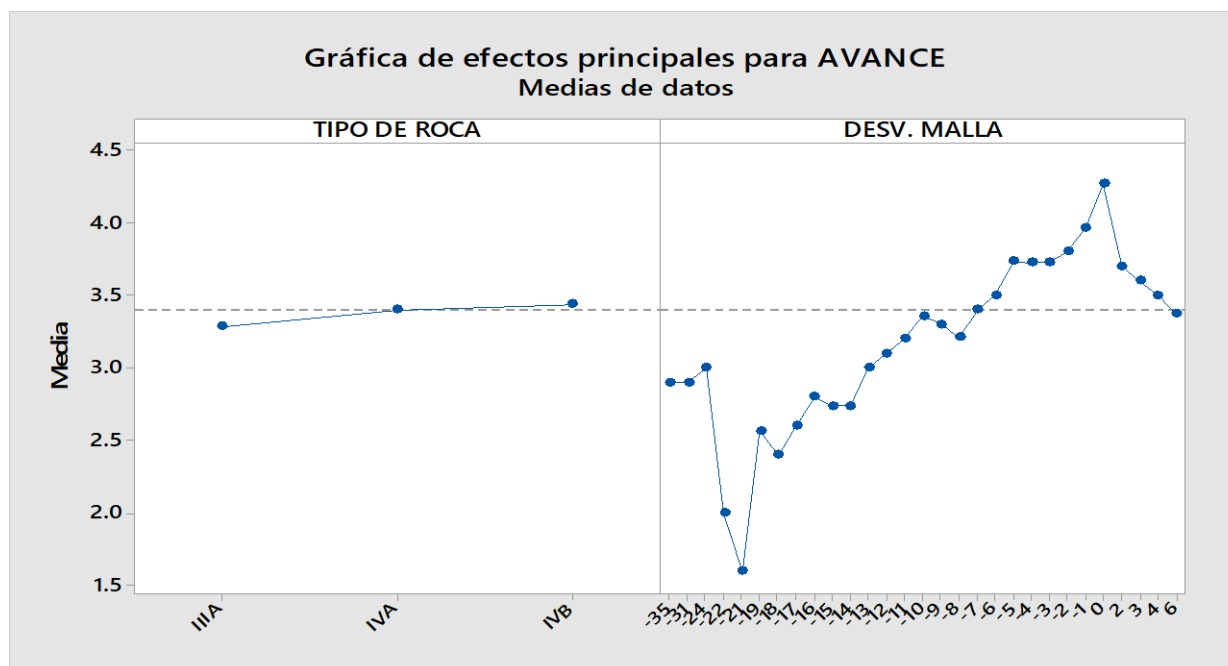
2. Falta de estandarización de malla de perforación

Uno de los problemas para lograr un avance mayor a 3.5 m, es no cumplir con lo especificado en las mallas de perforación estandarizadas; es decir perforar más o menos taladros que los especificados en las mallas de perforación según el tipo de roca y la sección de la labor, donde se muestra el número de taladros a realizar, así como la distribución de carga.

Para este análisis en la figura 22 tenemos el número de taladros que resulta de la diferencia de los taladros perforados y los especificados en la malla de perforación, estos datos se recopilan de los reportes de los operadores.

Figura 22

Gráfica de efectos principales para avance



Fuente: Elaboración propia

En la figura 22, observamos una imagen de efectos principales para avance de las variables principales de **tipo de roca** y **desviación de la malla**.

El primer gráfico nos indica que el tipo de roca no tiene un efecto significativo sobre el avance, ya que las medias son similares y eso se explica por qué la línea es bastante plana.

Sin embargo, la tendencia de la gráfica de la desviación de la malla es más pronunciada es decir muestra mayor variabilidad, esto indica que la desviación de la malla tiene un impacto significativo sobre el avance.

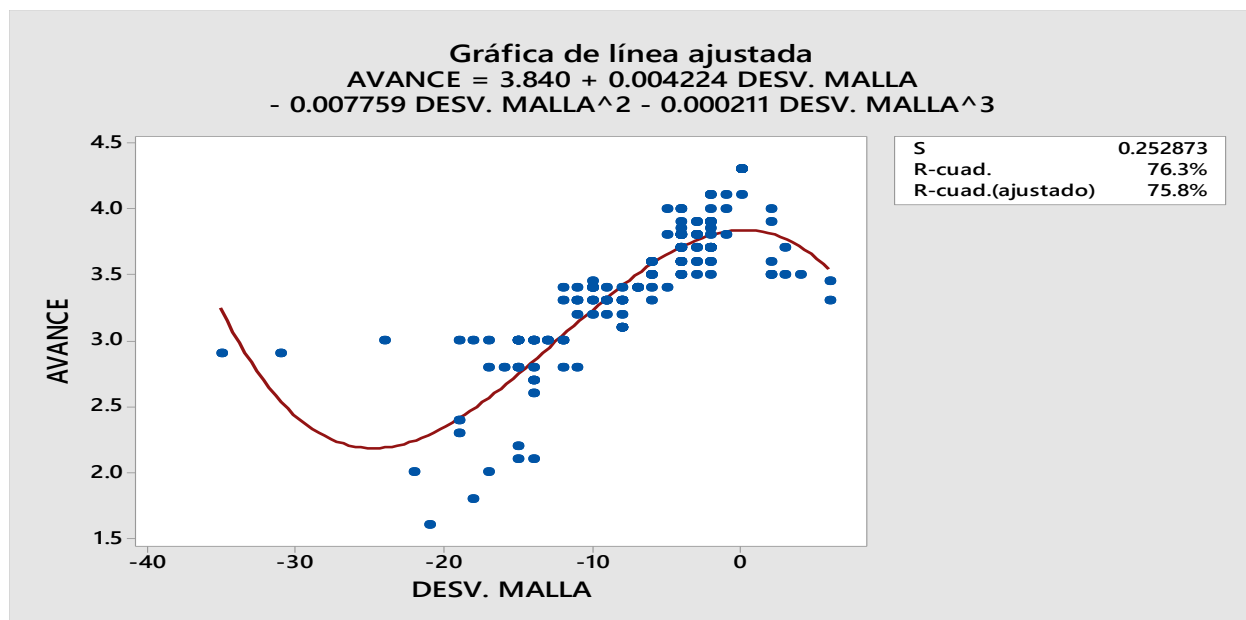
Con la ayuda de la herramienta de línea ajustada que muestra la relación entre la desviación de la malla y el avance. Consideramos la ecuación ajustada de tercer grado para modelar la relación ya que el valor de R-cuadrado es mayor a una ecuación lineal y cuadrática.

La ecuación ajustada para este caso es:

$$\text{Avance} = 3.840 + 0.004224 \text{ Desv. Malla} - 0.007759 \text{ Desv. Malla}^2 - 0.000211 \text{ Desv. Malla}^3$$

Figura 23

Gráfica de línea ajustada



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 23 se muestra en el eje X la desviación de la malla (Desv. Malla) y en el eje Y el avance (Avance); el gráfico nos ayuda a entender la relación que existe entre ambas variables. La distribución de los datos de la gráfica es de una ecuación cubica por tal el avance se muestra con esa ecuación.

Los valores de la desviación de malla son la diferencia entre los taladros ejecutados y los que se especifican en la malla, que va desde -35 a 15 taladros, en la gráfica 38, observamos que la **DESVIACIÓN DE LA. MALLA** cambia de valores negativos hacia positivos, el avance primero disminuye, luego aumenta y alcanza un máximo alrededor de los valores entre -10 y 0, antes de comenzar a descender nuevamente.

Esto indica que cuando haya menos variación entre el número de taladros perforados y el número de taladros que indica en la malla de perforación; el avance es mayor.

En resumen, si se cumple lo especificado en las mallas de perforación, perforando los taladros indicados y respetando su distribución, el avance será mejor.

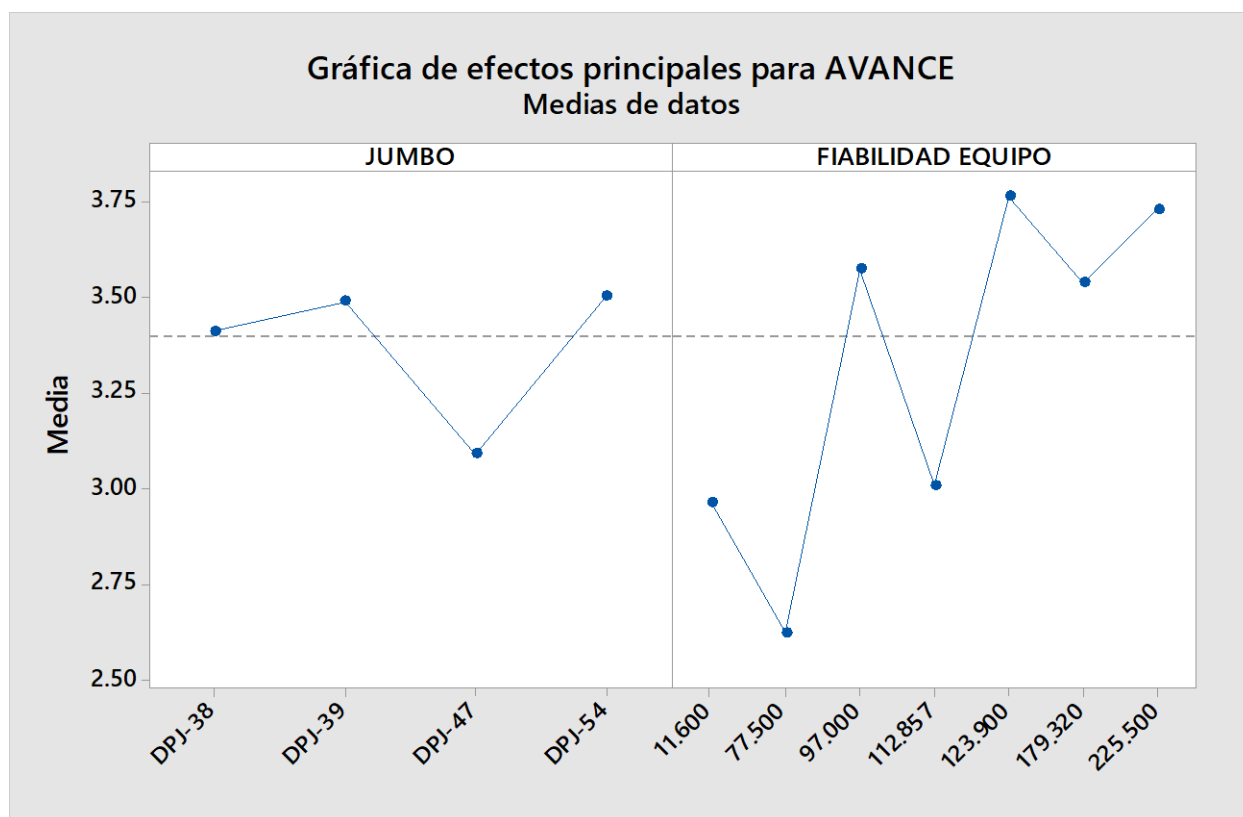
3. Mantenimiento inadecuado de equipo de perforación

Uno de los posibles factores para un avance deficiente es el mantenimiento inadecuado del equipo de perforación (Jumbo), es por ello que se calculará la fiabilidad del equipo considerando las horas operativas del equipo de perforación entre el número de fallas reportadas en el mes.

La fiabilidad (MTBF) se calcula dividiendo el tiempo de actividad del jumbo por el número de averías experimentadas en un periodo de tiempo. Si el MTBF es bajo, significa que su activo se avería a menudo y necesita un mantenimiento frecuente.

Figura 24

Gráfica de efectos principales para avance



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la figura 24 de efectos principales, la relación del jumbo y la fiabilidad del equipo y el promedio de avance, vemos que en comparación de ambas gráficas existe mayor variabilidad en la fiabilidad del equipo mostrando considerables picos, lo cual significa que influye más en el avance. Para tener un análisis más completo, mostramos el siguiente resumen en la tabla 12:

Tabla 12

Promedio de avance y disparos ejecutados por jumbo mes 1

Jumbo	Mes 1		
	Fiabilidad Del Equipo	Promedio De Avance	Nro Disparos Ejecutados
DPJ-38	112.86	3.01	23.00
DPJ-39	11.60	2.95	8.00

DPJ-47	77.50	2.63	16.00
DPJ-54	97.00	3.43	19.00

Fuente: Reporte del área de costos

En la tabla 12 mostramos la correspondencia entre la fiabilidad del equipo de perforación (Jumbo), el promedio de avance mensual y el número de disparos ejecutados en el mes.

Se puede apreciar que el jumbo DPJ-39 es el que más fallas presentó, y consecuentemente es el equipo que menos disparos ejecutó; siendo su promedio de avance de los 8 disparos (2.95 m)

Del mismo modo el jumbo DPJ-38 es el equipo con mayor fiabilidad, es decir, el que presenta menores fallas; siendo su promedio de avance 3.01 m y tiene 23 disparos ejecutados.

Llegando a la conclusión que en el mes de análisis 1 que, a mayor fiabilidad del equipo, este realiza más disparos; sin embargo, la fiabilidad no es directamente proporcional al promedio de avance.

Tabla 13

Promedio de avance y disparos ejecutados por jumbo (Mes 2)

Jumbo	Mes 2		
	Fiabilidad Del Equipo	Promedio De Avance	Nro Disparos Ejecutados
DPJ-38	225.50	3.73	44.00
DPJ-39	123.90	3.78	14.00
DPJ-47	97.00	3.66	13.00
DPJ-54	179.32	3.54	19.00

Fuente: Reporte del área de costos

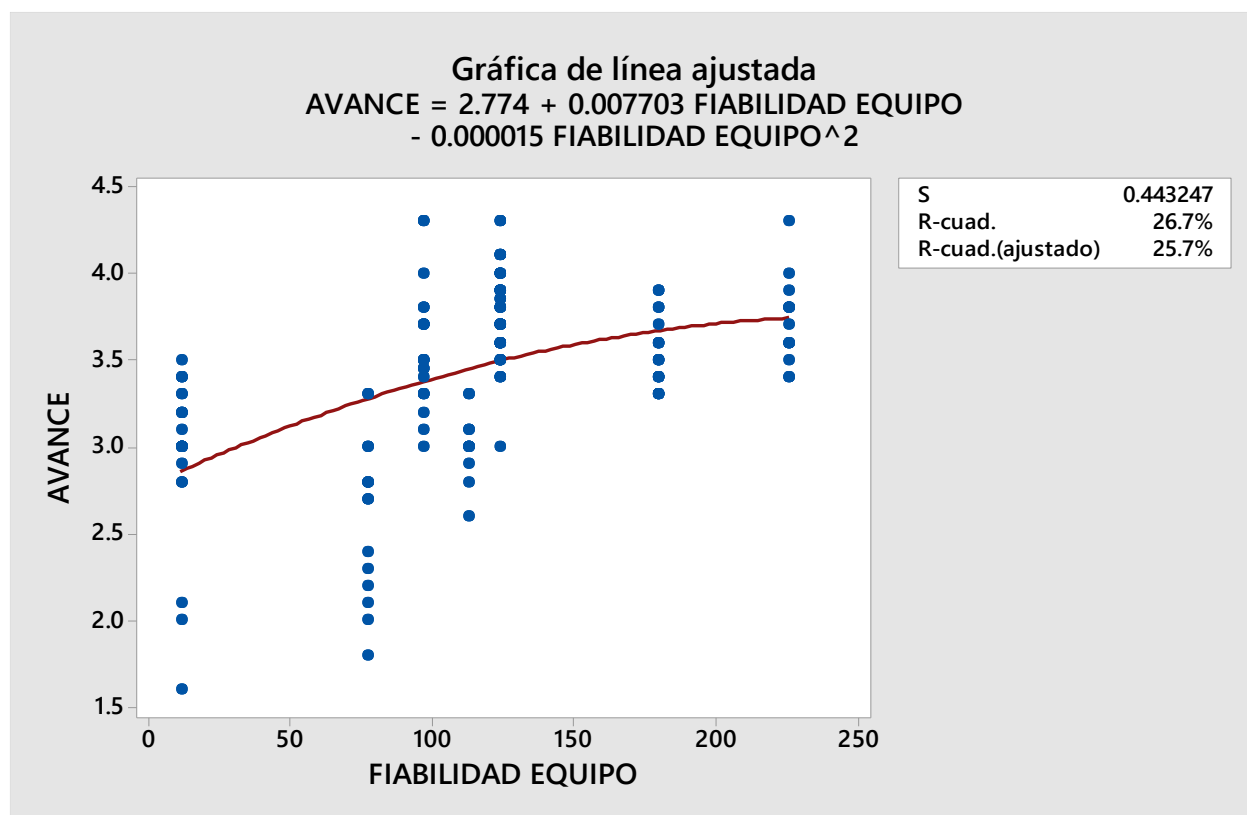
En la tabla 13, se muestra un cuadro de correspondencia de fiabilidad de cada jumbo para el mes 2 de análisis, el promedio de avance y el número de disparos ejecutados; en esta tabla observamos que el jumbo DPJ-47 tiene una fiabilidad de 97, siendo el menor con un promedio de avance de 3.66 m con 13 disparos ejecutados; y el jumbo con mayor fiabilidad es el DPJ-38, con un valor de 225.5, un promedio de avance de 3.73 m y 44 disparos ejecutados.

Coincidiendo en ambos meses de análisis que la fiabilidad, tiene un impacto en el número de disparos ejecutados, pero no de manera directa en el promedio de avance por disparo.

Con la finalidad de hallar la relación de la fiabilidad y el avance realizaremos una gráfica de línea ajustada:

Figura 25

Gráfica de línea ajustada



Fuente: Elaboración propia

El R-cuadrado es la medida de la proximidad que existe de los datos a la línea ajustada, y nos ayuda a pronosticar que tan bien el modelo predice la respuesta (Avance por disparo).

Si el R-cuadrado es igual a 0, no hay relación entre los datos y la línea ajustada; sin embargo, si R-cuadrado se acerca a 1 indica que el modelo explica toda la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media.

En la figura 25 observamos que el R – cuadrado es 26.7% y el R - cuadrado ajustado es de 25.7%, teniendo muchos datos alejados de la línea ajustada lo cual indica que el modelo no es considerable

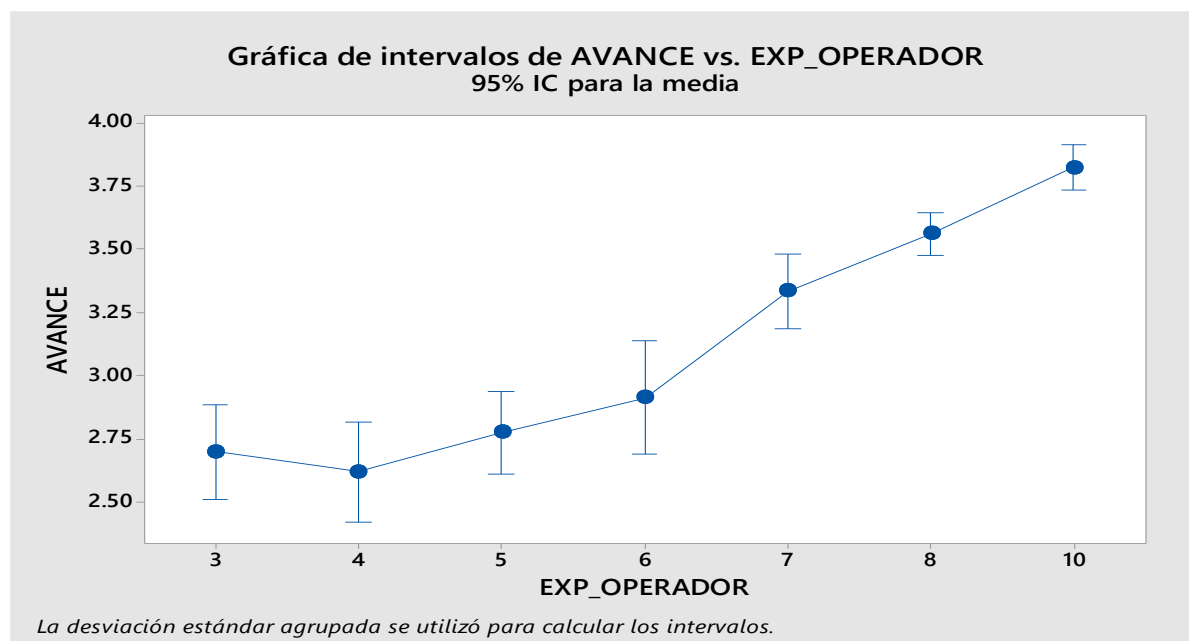
4. Falta de experiencia de operadores de jumbo y cargadores

4.1. Análisis de experiencia de operadores de jumbo:

Realizaremos en primer lugar el análisis de la experiencia de los operadores de jumbo utilizando el gráfico de intervalos de confianza que muestren la relación de avance con la experiencia del operador.

Figura 26

Gráfica de intervalos de avance vs. Experiencia operador



Fuente: Elaboración propia

La Figura 26 presenta una gráfica de intervalos de confianza (IC) del 95%, que ilustra la relación entre la experiencia del operador (EXP_OPERADOR) y el avance (AVANCE)

El eje horizontal (X) representa la variable EXP_OPERADOR, que indica el nivel de experiencia de los operadores en una escala de 3 a 10. Por otro lado, el eje vertical (Y) muestra la variable AVANCE, la cual mide el rendimiento alcanzado en función de la experiencia.

Los puntos azules en la gráfica representan los medios del avance para cada nivel de experiencia del operador. Las barras verticales asociadas a cada punto corresponden al intervalo de confianza del 95%, lo que indica el rango dentro del cual se espera que se encuentre la media poblacional del avance con un nivel de certeza del 95%.

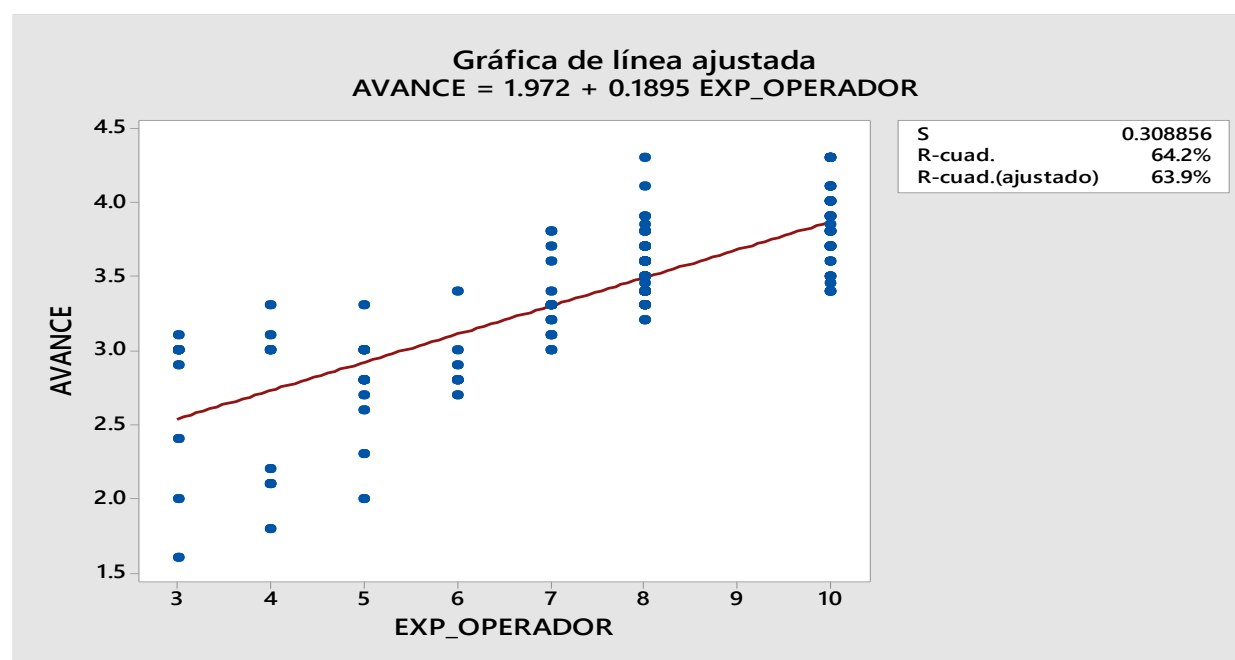
Se observa una tendencia creciente en la relación entre la experiencia del operador y el avance. Es decir, a medida que aumenta la experiencia, el rendimiento también mejora. En los niveles más bajos de experiencia, el avance presenta una mayor variabilidad, como se evidencia en la amplitud de los intervalos de confianza. Sin embargo, conforme los operadores adquieren más experiencia, la variabilidad se reduce, sugiriendo un desempeño más estable y consistente.

Estos resultados sugieren que la experiencia del operador es un factor determinante en el desempeño, lo cual es relevante para la planificación de capacitación, asignación de tareas y estrategias de mejora en productividad.

Para analizar de manera individual el modelo de regresión, se utiliza la gráfica de línea ajustada, teniendo la siguiente gráfica.

Figura 27

Gráfica de línea ajustada



Fuente: Elaboración propia

La figura 27 muestra una relación positiva entre la experiencia del operador (EXP_OPERADOR) y el avance logrado. Esto significa que a medida que aumenta la experiencia del operador, también tiende a aumentar el avance.

Ecuación:

$$\text{Avance} = 1.972 + 0.1895 * \text{Exp_Operador}$$

Esta ecuación nos permite predecir el avance aproximado para un determinado nivel de experiencia del operador.

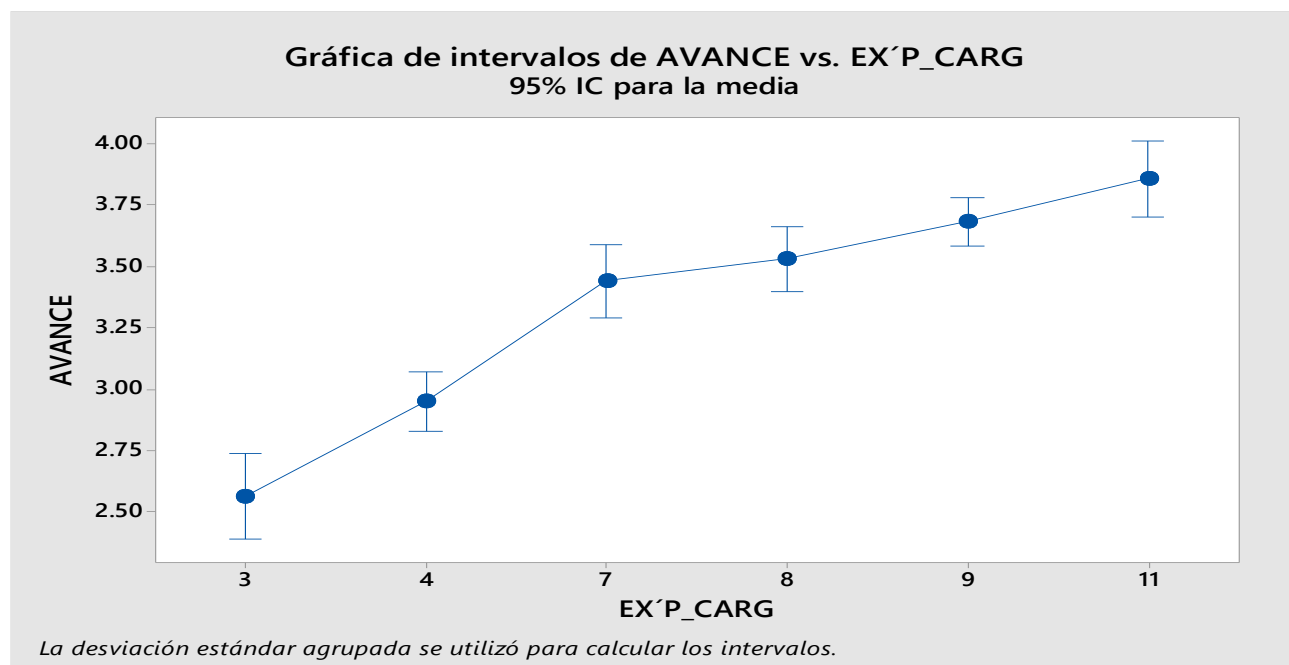
El R – cuadrado indica que el 64.2% de la variabilidad en el avance puede ser explicada por la experiencia del operador. Es decir, la experiencia es un factor importante, pero no el único que influye en el avance.

4.2 Análisis de experiencia de cargadores

Para el análisis utilizamos los intervalos de confianza que muestren la relación de avance con la experiencia del operador.

Figura 28

Gráfica de intervalos de avance



Fuente: Elaboración propia

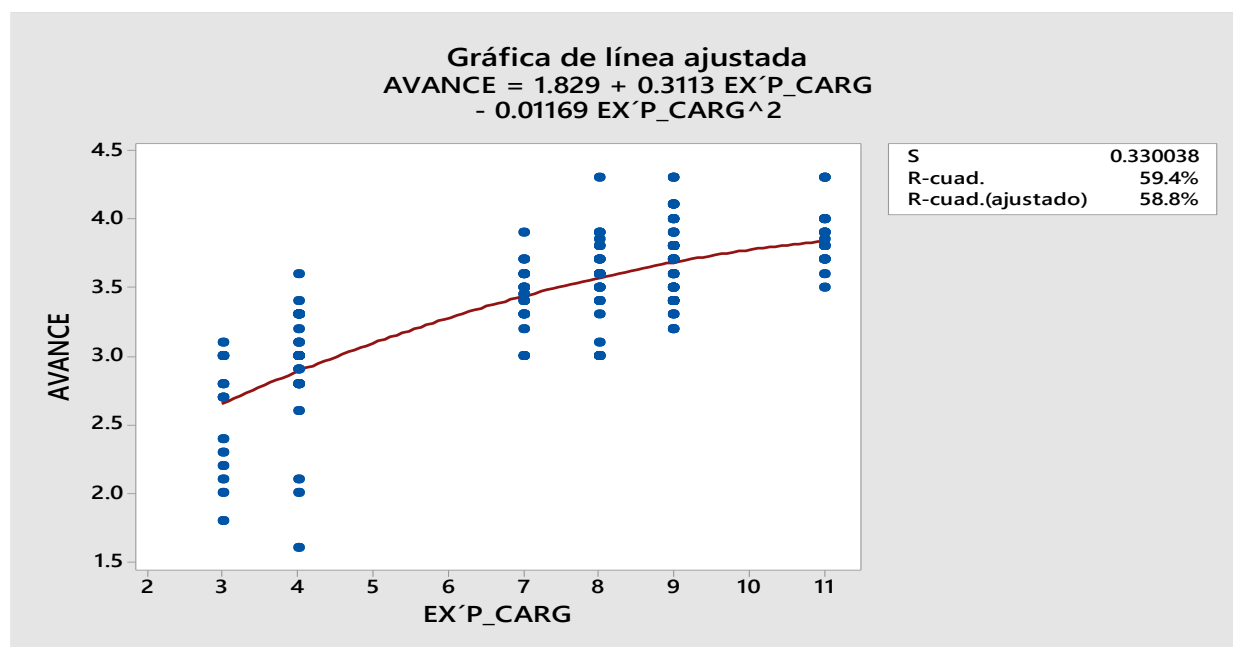
En la figura 28 se muestra una gráfica de intervalos de confianza (IC) del 95%, que representa la relación entre la experiencia en carga (EX'P_CARG) y el avance (AVANCE).

Los datos reflejan una tendencia creciente, lo que sugiere que a medida que aumenta la experiencia del cargador el avance también mejora de igual manera observamos que conforme aumenta la experiencia, los intervalos se reducen, indicando una menor dispersión y una mayor estabilidad en el rendimiento.,

Para analizar de manera individual el modelo de regresión, se utiliza la gráfica de línea ajustada:

Figura 29

Gráfica de línea ajustada



Fuente: Elaboración propia

En el eje horizontal (X) se encuentra la variable EX'PERIENCIA DEL CARGADOR, que mide la experiencia en una escala de 3 a 11 años. En el eje vertical (Y) se representa la variable AVANCE, que cuantifica el desempeño alcanzado en función de la experiencia del cargador.

Los puntos azules corresponden a los datos observados, mientras que la línea roja representa el ajuste del modelo de regresión, que sigue la ecuación:

$$\text{Avance} = 1.829 + 0.3113 * \text{Exp_Carg} - 0.01169 \text{Exp_Carg}^2$$

Esta ecuación nos permite predecir el avance aproximado para un determinado nivel de experiencia del operador.

El R – cuadrado indica que el 59.4% de la variabilidad en el avance puede ser explicada por la experiencia del cargador,

5. Modelo general de regresión

Un modelo de regresión es una herramienta estadística que se utiliza para describir y cuantificar la relación entre una variable dependiente (Avance por disparo) y las variables independientes o predictoras (Experiencia del cargador, experiencia del operador, desviación de la malla, fiabilidad del equipo jumbo y el índice de rotación).

Esta regresión nos va a permitir entender cómo cambian los valores de la variable dependiente a medida que cambian los valores de las variables independientes.

Este modelo nos da una fórmula que permite predecir la variable dependiente en función de las variables independientes.

Tabla 14

Análisis de variables

	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.
Regresión	10	33.6840	86.61%	33.6840	3.36840
Desv. Malla	1	23.7166	60.98%	0.0451	0.04507
Ex'P_Carg	1	3.8456	9.89%	0.0027	0.00271
Exp_Operador	1	1.9495	5.01%	0.3818	0.38183
Fiabilidad Equipo	1	0.1527	0.39%	0.1584	0.15840
Indice De Rotación	1	2.1402	5.50%	0.0651	0.06508
Desv. Malla*Desv. Malla	1	0.1476	0.38%	0.2041	0.20409
Ex'P_Carg*Ex'P_Carg	1	0.0312	0.08%	0.0065	0.00646
Fiabilidad Equipo*Fiabilidad Equipo	1	0.1971	0.51%	0.1467	0.14671
Indice De Rotación*Indice De Rotación	1	1.1782	3.03%	0.7827	0.78275

Desv. Malla*Desv. Malla*Desv. Malla	1	0.3251	0.84%	0.3251	0.32514
Error	137	5.2060	13.39%	5.2060	0.03800
Falta De Ajuste	121	4.8839	12.56%	4.8839	0.04036
Error Puro	16	0.3221	0.83%	0.3221	0.02013
Total	147	38.8900	100.00%		

Fuente: Reunión del comité de excelencia operativa

Para evaluar la calidad del modelo propuesto, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), cuyos resultados se presentan en la Tabla 14. Este análisis permite determinar la contribución de cada variable al modelo y la proporción de variabilidad explicada.

Componentes clave de la tabla:

1. **Fuente:** Son las variables que explican la variabilidad en el modelo.
2. **GL (Grados de Libertad):** Indican la cantidad de información disponible para estimar la variabilidad asociada a cada fuente (variable).
3. **SC Sec. (Suma de Cuadrados Secuenciales):** Representa la variabilidad explicada por cada factor o interacción. La suma de cuadrados total es 38.89, de los cuales 33.684 corresponden a la regresión (lo que indica que el modelo explica una gran parte de la variabilidad).
4. **Contribución:** Indica el porcentaje de variabilidad explicada por cada factor en relación con la suma total de cuadrados, la variable de DESV. MALLA contribuye con el 60.98% de la variabilidad total, siendo el factor más influyente en el modelo.
5. **SC Ajust. (Suma de Cuadrados Ajustada):** Ajusta la contribución de cada fuente considerando otras variables ya en el modelo.
6. **MC Ajust. (Media Cuadrática Ajustada):** Es el promedio de la variabilidad ajustada para cada fuente.

Interpretación de los Resultados

1. Variabilidad Explicada y Ajuste del Modelo

- La suma de cuadrados total es de 38.890, de los cuales 33.684 (86.61%) corresponden a la regresión, lo que indica que el modelo explica la mayor parte de la variabilidad presente en los datos.
- El error no explicado representa el 13.39% (SC = 5.2060), lo que sugiere que el modelo tiene un ajuste adecuado.

2. Factores más Influyentes

- La variable DESVIACIÓN A LA. MALLA es la de mayor impacto en el modelo, explicando 60.98% de la variabilidad total (SC = 23.7166).
- El ÍNDICE DE ROTACIÓN también tiene una contribución significativa del 5.50% (SC = 2.1402).
- Otras variables, como EXP_CARG (9.89%) y EXP_OPERADOR (5.01%), presentan aportes considerables al modelo.

3. Evaluación del Error y la Falta de Ajuste

- La falta de ajuste del modelo es del 12.56%, mientras que el error puro es de solo 0.83%. Esto indica que la mayor parte del error proviene de la variabilidad en los datos.

Ecuación de regresión

$$\begin{aligned}
 \text{Avance} = & 3.094 + 0.00860 \text{ Desv. Malla} + 0.0118 \text{ Exp_Carg} + 0.0419 \text{ Exp_Operador} \\
 & + 0.002009 \text{ Fiabilidad Equipo} + 0.0981 \text{ Índice De Rotación} \\
 & - 0.002164 \text{ Desv. Malla*Desv. Malla} + 0.00126 \text{ Exp_Carg*Exp_Carg} \\
 & - 0.000008 \text{ Fiabilidad Equipo*Fiabilidad Equipo} \\
 & - 0.1162 \text{ Índice De Rotación*Índice De Rotación} \\
 & - 0.000067 \text{ Desv. Malla*Desv. Malla*Desv. Malla}
 \end{aligned}$$

Se realizará un ejemplo del cálculo asumiendo los siguientes valores para cada variable:

- Desv. Malla: 5
- Exp Cargador: 5
- Exp. Operador: 7
- Fiabilidad: 225
- Índice De Rotación: 0

Reemplazando los datos en la ecuación tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Avance} = & 3.094 + 0.00860 * (5) + 0.0118 * (5) + 0.0419 * (7) + 0.002009 * (225) + 0.0981 * (0) \\ & - 0.002164 * (5) * 5 + 0.00126 * (5) * (5) - 0.000008 * (225) * (225) - 0.1162 (0) * (0) \\ & - 0.000067 (5) (5) \end{aligned}$$

$$\text{Avance} = 3.51 \text{ m}$$

Conclusión:

El análisis de varianza confirma que el modelo de regresión propuesto es adecuado para explicar la variabilidad en la variable dependiente, con un 86.61% de la variabilidad total explicada por las variables predictoras. Además, se observa que la variable DESV. MALLA es el principal factor determinante dentro del modelo, seguida por el ÍNDICE DE ROTACIÓN y EX'P_CARG. Finalmente, la baja falta de ajuste sugiere que el modelo es consistente y representa bien los datos observados.

4.1.4. Fase Mejorar

Cómo conclusión de la etapa ANALIZAR se tuvo que la Desviación de malla es la variable de entrada que tiene mayor contribución al modelo (60.98%), es por ello que en la fase mejorar ahora nos enfocaremos en diseñar y probar mejoras que reduzcan la variabilidad y mejoren el rendimiento de la variable de Desviación de malla.

En esta etapa tendremos las siguientes salidas:

1. Brecha de la variable
2. Gráfico de optimización
3. Flujograma de implementación
4. Capacidad del nuevo proceso
5. Prueba de Hipótesis

4.1.4.1. Promedio de desviación de la malla

La desviación de la malla es la diferencia entre los taladros perforados y los taladros exigidos por las mallas.

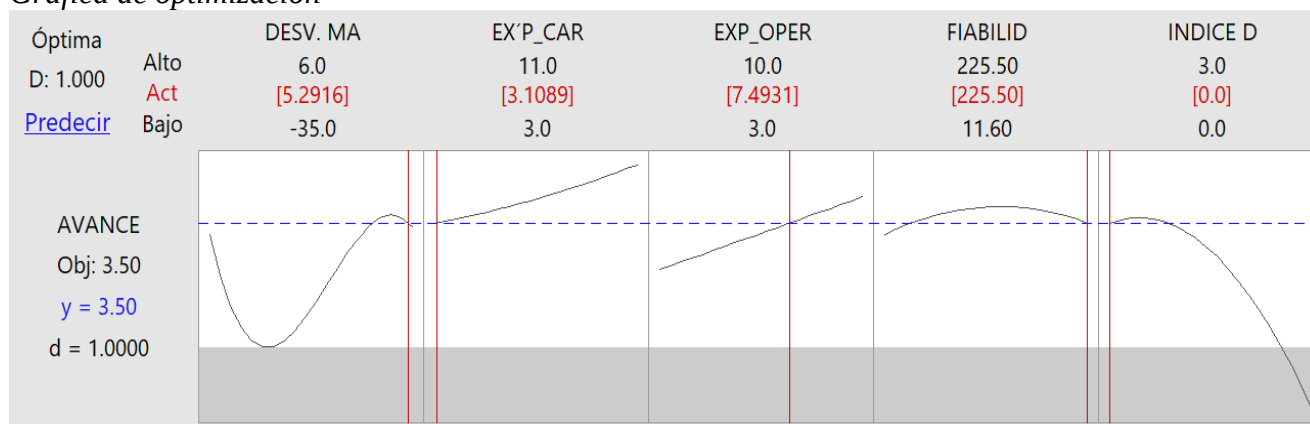
El promedio de la desviación de los datos analizados es 14.

4.1.4.2. Optimización

Se realizó un análisis de predicción basado en un sistema con los parámetros de entrada y su efecto que tienen sobre la variable objetivo, "AVANCE". Se muestra a continuación una gráfica que nos ayuda a predecir los valores de cada variable que se acercan para llegar al objetivo.

Figura 30

Gráfica de optimización



Fuente: Elaboración propia

La figura 30 es útil para evaluar el impacto de las variables en una respuesta y buscar valores óptimos en base al requisito definido, AVANCE: 3.5 m.

El optimizador de respuestas busca las respuestas óptimas con base en los requisitos definidos para cada respuesta calculando una deseabilidad individual para cada respuesta y ponderando cada una de acuerdo con la importancia que se le asigne.

En objetivo de análisis para la variable Y (Avance por disparo) es 3.5 m y se observa en la parte superior de la figura 31. las variables analizadas con sus valores alto, actual y bajo; los valores en color rojo (actuales) son los que nos permiten alcanzar el objetivo.

En el caso de la desviación de la malla nos indica que el valor optimo es alrededor de 5, en el caso de la experiencia del cargador será de 3.10 años de experiencia, la experiencia del operador de 7.49 años, la fiabilidad del equipo 225.50 y el índice de rotación en 0; con estos valores se alcanza un avance igual a 3.5 m

4.1.4.3. Brecha de la variable

La brecha de la variable es la diferencia entre el promedio de la desviación de la malla y el valor actual con qué se llegaría al objetivo (3.5m).

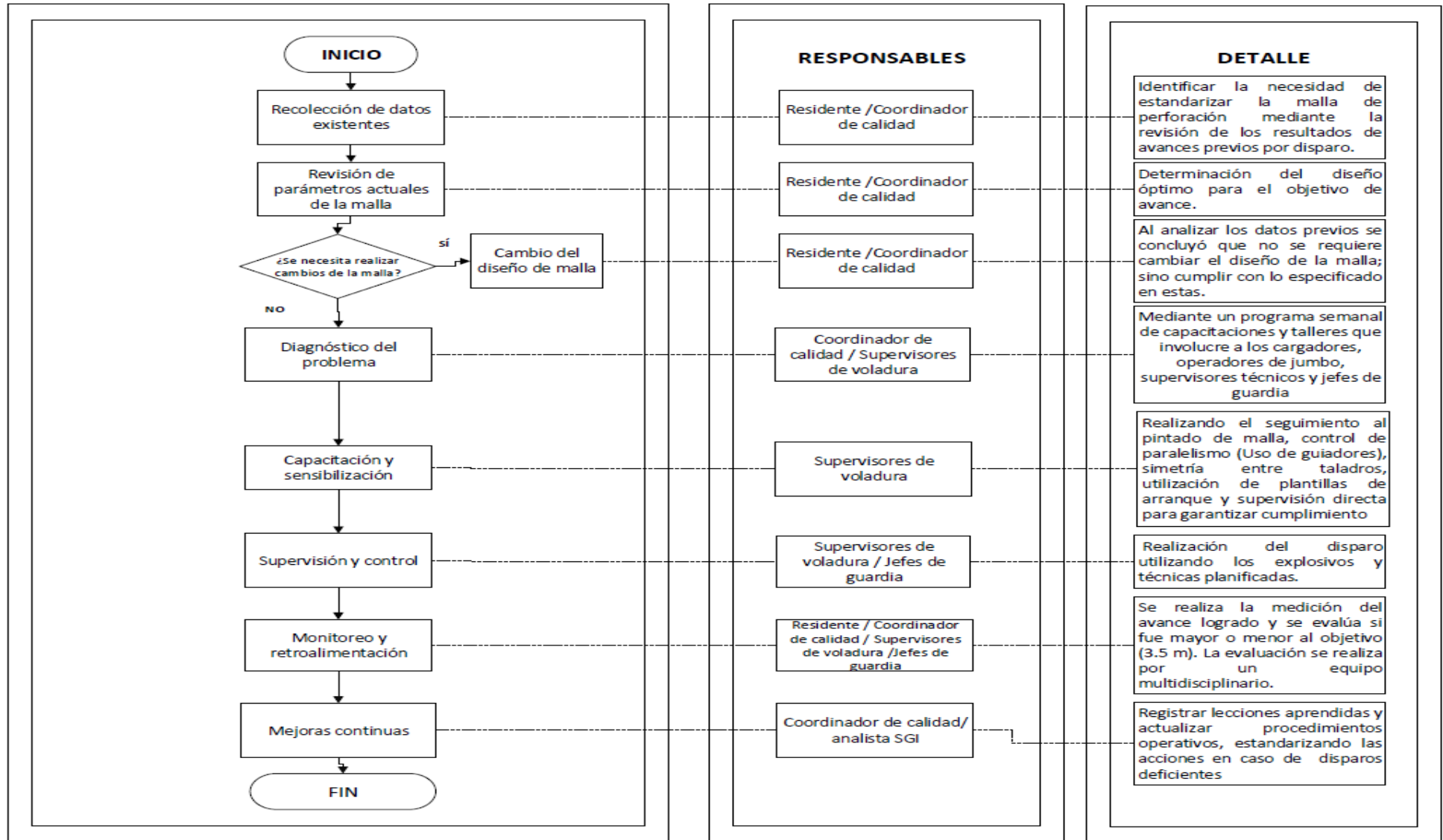
La brecha para esta variable sería alrededor 9 taladros

4.1.4.4. Flujograma de actividades para el cumplimiento del estándar de la malla

En los análisis previos se pudo definir que el no cumplir con las mallas de perforación y perforar menos taladros o en algún caso, taladros demás influye de manera determinante al avance por disparo. Es por ello que al realizar una evaluación previa se observó que no existe la necesidad de cambiar las mallas; pero sí de difundirlo y realizar seguimiento en campo.

A continuación, en la figura 31, presentamos el flujograma de las actividades realizadas.

Flujograma de actividades a detalle



Fuente: Elaboración propia

4.1.4.5. Evidencias en campo de la prueba piloto

a) Reuniones de excelencia operativa: Las reuniones de excelencia operativa se realizan de manera semanal con la participación de un equipo multidisciplinario formado por el área de operaciones, mantenimiento, costos y topografía, seguridad, administración y logística.

La importancia de la participación de un equipo multidisciplinario de manera regular es porque ofrece una diversidad de perspectivas ya que cada disciplina aporta enfoques distintos, lo que ayuda a identificar riesgos, oportunidades y soluciones.

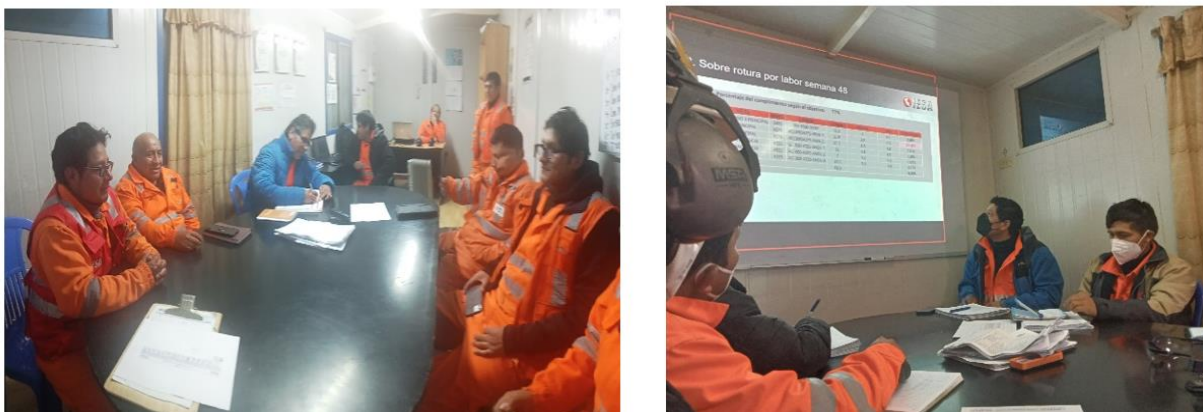
Un equipo con distintas habilidades puede anticipar problemas y solucionarlos de manera más eficiente mejorando los flujos de trabajo y eliminando ineficiencias, lo que impacta en la calidad del servicio.

En las reuniones semanales se revisan los indicadores de avance de la semana; así como se analizan las causas de los problemas y se plantean acciones que permitirán que no vuelva a ocurrir. Es fundamental que en las reuniones se realicen el seguimiento a las acciones

Figura 32

Reunión del comité de excelencia operativa planteadas para asegurar que se hayan cumplido.

Reunión del equipo multidisciplinario – comité de excelencia operativa



Fuente: Actas de Reunión de Calidad

b) Capacitación

Se incluyó dentro del programa anual de capacitaciones temas relacionados a mejorar la calidad de las operaciones.

- Voladura controlada
- Indicadores (KPIs) en las operaciones de Perforación y Voladura
- Amarre y Conexión
- Cebado
- Carguío
- Diseños de Mallas de Perforación
- Secuencias de Voladuras

Las capacitaciones son brindadas por los ingenieros supervisores de operaciones y voladura al personal de las tres guardias, estas capacitaciones fueron teóricas y prácticas.

Figura 33

Capacitación al personal operativo

Capacitación



Fuente: Informe de actividades de la supervisión de voladura IESA

c) Implementación de plantillas de arranque

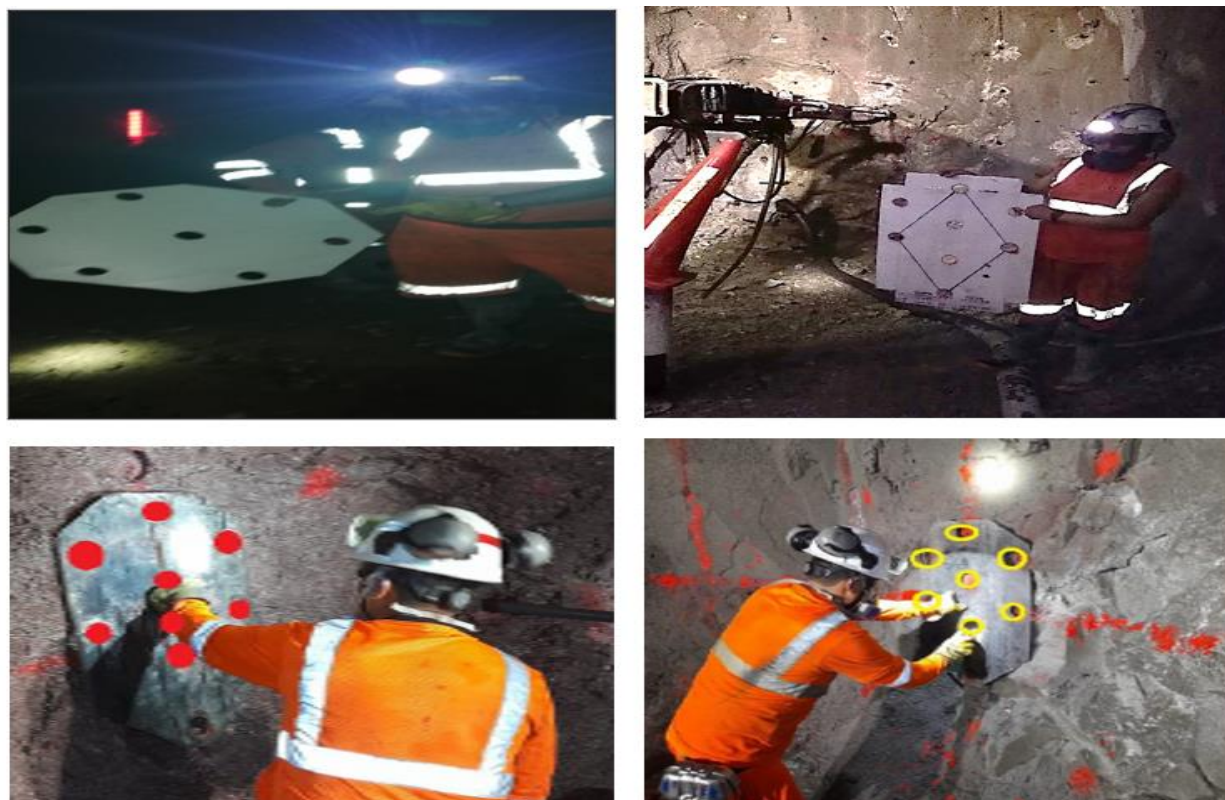
Se realiza el seguimiento a la perforación en campo mediante la implementación de plantillas de arranque que garantiza que cada perforación siga un diseño óptimo, reduciendo errores y variaciones entre operadores.

La supervisión de voladura genera las plantillas en base a las especificaciones de las mallas de perforación por tipo de roca y se realiza la capacitación en campo al personal haciendo que sea más eficiente y clara con ayuda de las plantillas.

Con la ayuda de estas plantillas y el seguimiento al cumplimiento de las mallas de perforación por parte de la supervisión operativa se logrará menor desviación en el cumplimiento de lo especificado en las mallas de perforación, como se pudo ver en la etapa de analizar, la desviación a la malla de perforación es la causa que tiene mayor impacto en el modelo de las variables

Figura 34

Supervisión en campo de los equipos de perforación



Fuente: Informe de actividades de la supervisión de voladura IESA

d) Verificación de pintado de malla y gradiente de perforación

El pintado de malla y gradiente en minería subterránea es fundamental para garantizar precisión en la perforación, optimizar la voladura y mejorar la seguridad.

Permite ubicar correctamente los puntos de perforación, evitando desviaciones que afectarían la fragmentación y el consumo de explosivos.

El pintado de gradiente contribuye al control y dirección de avance, asegurando que la excavación siga la inclinación y orientación correcta. Esto no solo reduce riesgos como sobre excavación e inestabilidad, sino que también estandariza el proceso, facilitando la comunicación entre ingenieros y operadores. En conjunto, esta práctica mejora la eficiencia operativa, minimiza costos y maximiza la seguridad en el desarrollo de trabajos mineros. A continuación, se presenta fotografías de las prácticas en campo de pintado de gradiente y malla.

Figura 35

Verificación de pintado de malla en campo



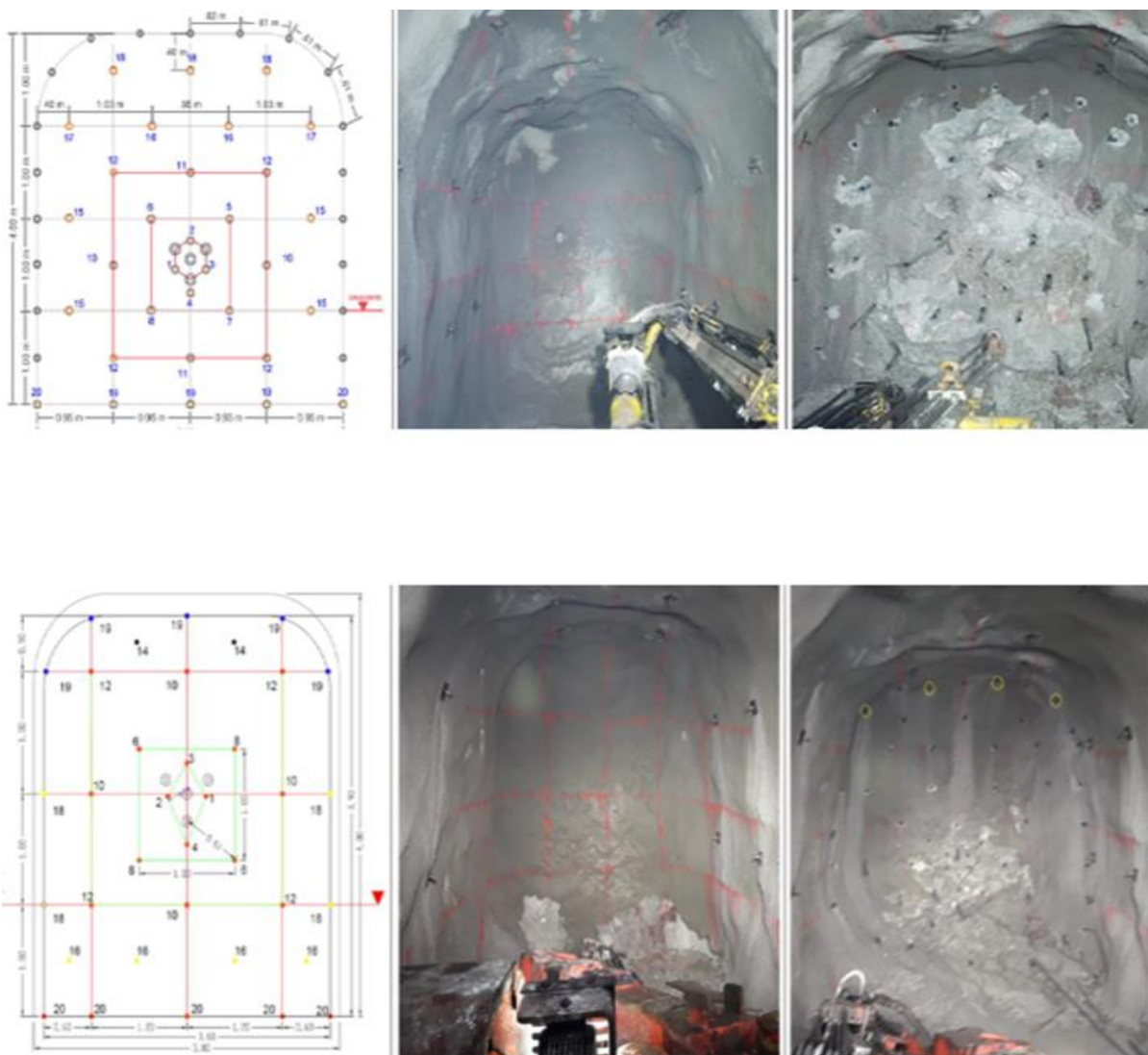
Fuente: Informe de actividades de la supervisión de voladura IESA

e) Pintado de malla según malla de perforación:

A continuación, se presenta fotografías de un frente de perforación con una malla ya ejecutada, en la que se ha seguido el diseño estándar establecido para el proceso de voladura.

Figura 36

Verificación de pintado en campo



Fuente: Informe de actividades de la supervisión de voladura IESA

f) Reconocimiento al personal

Se realizó reconocimiento a los trabajadores por su desempeño en las operaciones y seguridad para mejorar la motivación, el compromiso y la productividad. Esta evaluación lo realiza el área de operaciones, administración y seguridad y desde su aplicación se observó mayores niveles de satisfacción y lealtad, lo que disminuyó la rotación de personal y fortaleció el sentido de pertenencia.

Las premiaciones se realizan una vez en el mes a cargo del área de administración; se retribuye a un promedio de 4 personas por guardia siendo un total de 12 personas premiadas al mes con un bono de 100 soles a su ingreso mensual.

Figura 37

Reconocimiento a los colaboradores



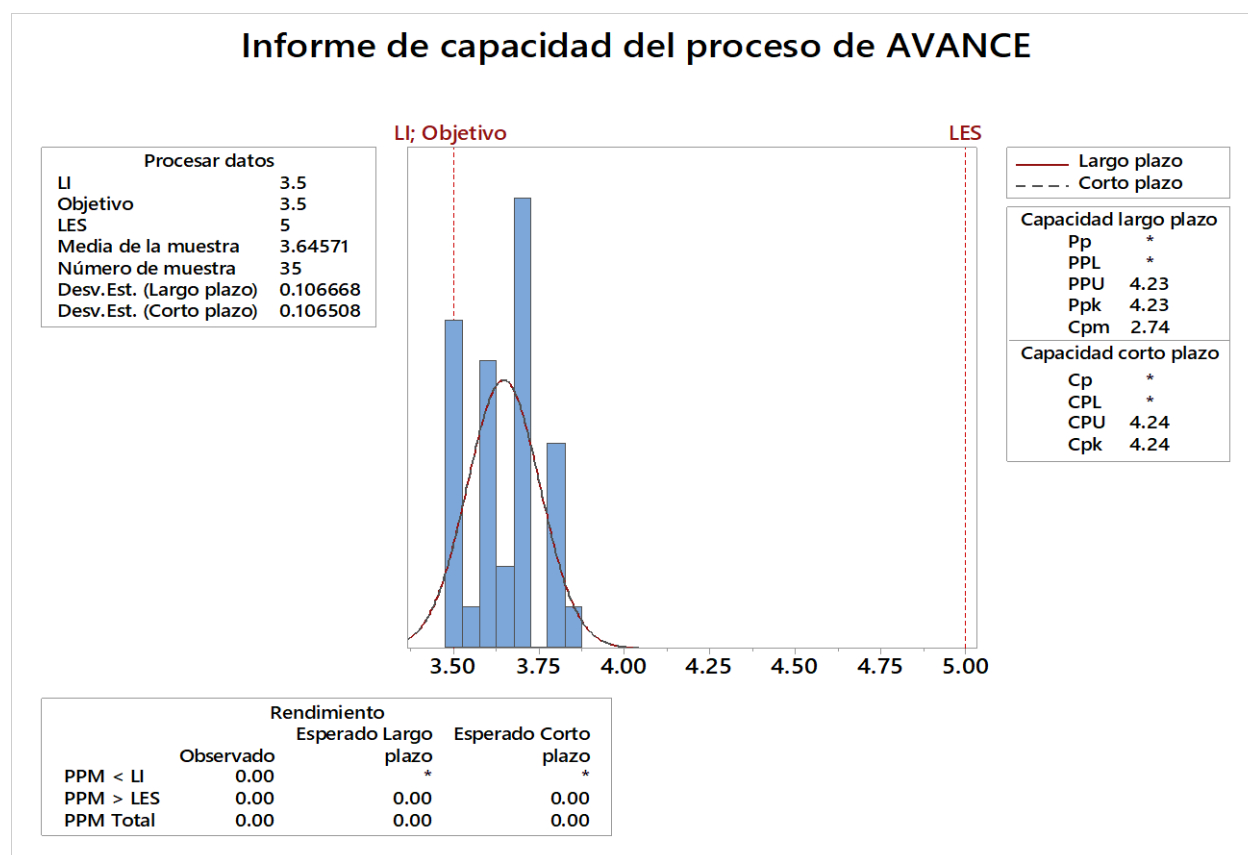
Fuente: Informe de actividades de la supervisión de voladura IESA

4.1.4.6. Análisis de la capacidad del proceso tras la mejora

El gráfico presentado a continuación corresponde a un Informe de Capacidad del Proceso de Avance, donde se evalúa la capacidad estadística del proceso en función de su distribución de datos y la relación con los límites de especificación establecidos.

Figura 38

Informe de capacidad del proceso de avance



Fuentes: Elaboración propia

El proceso tiene una media de 3.646, que cumple con el límite inferior (LI = 3.5) y no presenta datos fuera de especificación por debajo de este límite, además que la variabilidad a corto plazo es muy baja (desviación estándar: 0.10), lo que indica un proceso estable en condiciones controladas.

Tabla 15*Datos de avance – Post etapa Mejorar*

Fecha	Turno	Labor	Avance (M)	Desviación De La Malla	Cargador	Exp Cargador	Oper_Jumbo	Exp Operador	Fiabilidad De Equipo	Indice De Rotación
1/12/2022	DIA	AC-300-4225-ANDL-3	3.50	2	ALANIA E.	9	NAVARRO Y	8	245	1
2/12/2022	DIA	AC-300-4325-ANDL-1	3.70	2	ALANIA E.	9	CESPEDES H.	10	250	1
2/12/2022	DIA	RP-3900-RP3P	3.60	1	SALAZAR A.	11	GONZALES D.	8	230	1
3/12/2022	NOCHE	AC (300)-4275-PRIN-1	3.50	3	ORTEGA M.	9	CESPEDES H.	10	245	1
3/12/2022	NOCHE	AC-300-4225-ANDL-3	3.70	1	SALAZAR A.	11	CESPEDES H.	10	250	1
4/12/2022	NOCHE	AC-300-4225-ANDL-3	3.80	0	ORTEGA M.	9	CESPEDES H.	10	250	1
5/12/2022	DIA	RP-3900-RP3P	3.70	0	ALANIA E.	9	QUISPE W	10	245	1
5/12/2022	DIA	AC (300)-4275-PRIN-2	3.80	1	ALANIA E.	9	QUISPE W	10	250	1
6/12/2022	NOCHE	AC-300-4225-ANDL-3	3.60	2	ALANIA E.	9	CESPEDES H.	10	250	1
7/12/2022	NOCHE	AC-300-4225-ANDL-3	3.60	3	SALAZAR A.	11	QUISPE W	10	250	1
8/12/2022	DIA	AC (300)-4275-PRIN-1	3.50	2	SALAZAR A.	11	NAVARRO Y	8	250	1
8/12/2022	NOCHE	RP-3900-RP3P	3.70	0	ORTEGA M.	9	GONZALES D.	8	230	1
9/12/2022	NOCHE	AC (300)-4275-PRIN-1	3.55	1	SALAZAR A.	11	CESPEDES H.	10	250	1
12/12/2022	NOCHE	CA-3875-RP3P-3	3.60	3	ALANIA E.	9	GONZALES D.	8	250	1
15/12/2022	DIA	SN-300-4325-ANDL-I	3.70	1	SALAZAR A.	11	CESPEDES H.	10	245	1
16/12/2022	NOCHE	SN-400-4325-ANDL-D	3.50	1	ORTEGA M.	9	AGUILAR A	8	245	1
22/12/2022	NOCHE	SN-300-4325-ANDL-I	3.50	0	ALANIA E.	9	QUISPE W	10	245	1
25/12/2022	NOCHE	AC-300-4225-ANDL-3	3.65	2	ALANIA E.	9	CESPEDES H.	10	245	1
25/12/2022	DIA	AC (300)-4275-PRIN-2	3.70	1	ALANIA E.	9	NAVARRO Y	8	245	1
26/12/2022	NOCHE	AC-300-4325-AND-2	3.50	2	SALAZAR A.	11	CESPEDES H.	10	245	1

26/12/2022	DIA	AC-300-4225-ANDL-3	3.65	2	SALAZAR A.	11	CESPEDES H.	10	250	1
26/12/2022	DIA	RP-3900-RP3P	3.70		SALAZAR A.	11	GONZALES D.	8	230	1
26/12/2022	NOCHE	CA-4075-OFE1-1	3.70	0	ORTEGA M.	9	QUISPE W	10	240	1
26/12/2022	NOCHE	AC (300)-4275-PRIN-2	3.70	0	SALAZAR A.	11	CESPEDES H.	10	250	1
27/12/2022	DIA	AC-300-4225-ANDL-3	3.70	1	ALANIA E.	9	CESPEDES H.	10	250	1
27/12/2022	NOCHE	AC (300)-4275-PRIN-2	3.80	1	ORTEGA M.	9	CESPEDES H.	10	250	1
27/12/2022	NOCHE	CA-4075-OFE1-1	3.80	2	ALANIA E.	9	QUISPE W	10	240	1
28/12/2022	DIA	RP-3900-RP3P	3.50	3	ALANIA E.	9	GONZALES D.	8	230	1
29/12/2022	NOCHE	AC-300-4325-AND-2	3.60	2	SALAZAR A.	11	CESPEDES H.	10	250	1
29/12/2022	DIA	AC (300)-4275-PRIN-2	3.60	1	ALANIA E.	9	NAVARRO Y	8	250	1
30/12/2022	NOCHE	AC (300)-4275-PRIN-2	3.50	2	SALAZAR A.	11	CESPEDES H.	10	250	1
30/12/2022	NOCHE	AC-300-4325-AND-2	3.80	0	SALAZAR A.	11	NAVARRO Y	8	245	1
31/12/2022	NOCHE	AC-300-4325-AND-2	3.60	1	ORTEGA M.	9	NAVARRO Y	8	245	1
31/12/2022	DIA	SN-300-4325-ANDL-I	3.70	2	SALAZAR A.	11	AGUILAR A	8	245	1
31/12/2022	NOCHE	AC (300)-4275-PRIN-2	3.85	1	ALANIA E.	9	CESPEDES H.	10	250	1

Fuente: Reporte de operaciones – área de costos

En la tabla 15 se muestra la base de datos de avance post mejoras tomadas en el mes de diciembre, por lo que se muestra en la columna de avance la mayoría de datos superan los 3.5 metros de avance que es el límite de especificación para este indicador.

4.1.4.7. Prueba de hipótesis

Para evaluar el impacto de las mejoras implementadas en el proceso de avance, se realizó una prueba de hipótesis para comparar dos medias. Se analizaron los datos de los metros de avance antes y después de la implementación de las mejoras, con el objetivo de determinar si la diferencia observada es estadísticamente significativa

Se realiza una prueba de T de las dos muestras (Avance antes y avance después)

Método: Se tiene las medias del indicador de avance inicial (μ_1) y después de la mejora (μ_2)

- μ_1 : media de Avance_Antes
- μ_2 : media de Avance_Después

Estadísticas descriptivas:

Se presentan los valores para dos grupos:

- **Avance antes:** Muestra de 138 datos, con una media de 3.343 y una desviación estándar de 0.484.
- **Avance después:** Muestra de 35 datos, con una media de 3.646 y una desviación estándar de 0.107.

Estimación de la diferencia:

La diferencia entre las medias es de -0.3030 con un intervalo de confianza del 95% entre -0.3917 y -0.2142; como el intervalo de confianza no incluye el valor 0, esto sugiere que la diferencia entre los grupos es estadísticamente significativa

Prueba de hipótesis

- **Hipótesis nula (H_0)** En una hipótesis nula no existe diferencia entre las medias de los grupos de antes y después; es decir no hay una diferencia significativa.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

- **Hipótesis alterna (H_1)** En una hipótesis alterna existe diferencia entre las medias de los grupos de antes y después

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

Tenemos los siguientes datos provenientes de la prueba de hipótesis:

Valor T	GL	Valor p
-6.74	169	0.000

Valor T (-6.74):

- Es el estadístico de la prueba t de Student, que mide la diferencia estandarizada entre las medias de los dos grupos.
- Un valor negativo indica que la media del primer grupo ("Avance antes") es menor que la del segundo grupo ("Avance después").
- Cuanto más grande (en valor absoluto) sea el valor T, mayor es la diferencia entre las medias en relación con la variabilidad de los datos.

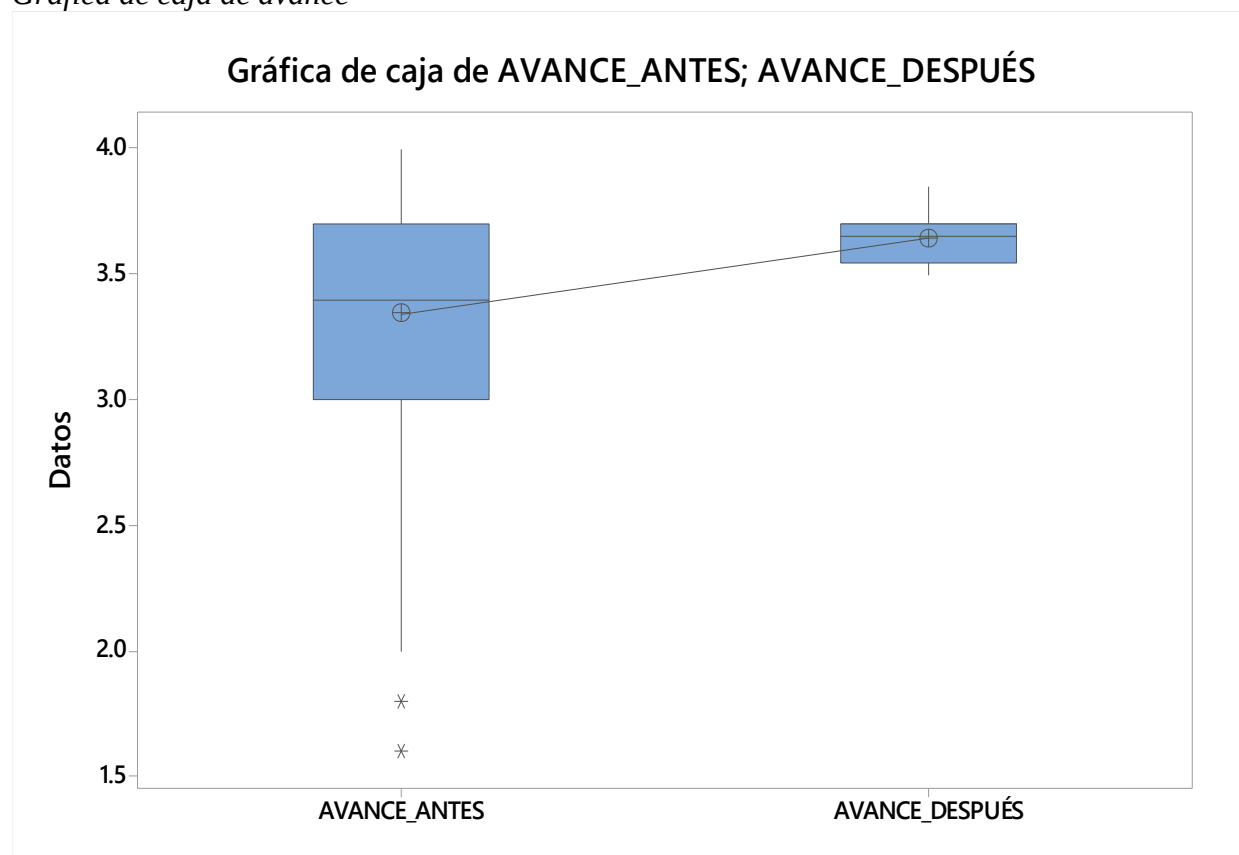
GL (Grados de libertad = 169):

- Representa la cantidad de información disponible para estimar la variabilidad en los datos.
- En una prueba t de dos muestras, se calcula en función del tamaño de ambas muestras.
- Un mayor número de grados de libertad generalmente implica una estimación más precisa.

Valor p (0.000):

- Indica la probabilidad de obtener un resultado igual o más extremo que el observado, asumiendo que la hipótesis nula (H_0) es verdadera.
- En este caso, el valor p es menor que 0.05, lo que significa que la diferencia entre los grupos es estadísticamente significativa.
- El valor de **p-valor** < **0.05**, lo que evidencia que las mejoras realizadas mejoraron significativamente los metros de avance.

A continuación, mostramos un diagrama de cajas con los datos de los avances antes y después de implementar las mejoras.

Figura 39*Gráfica de caja de avance*

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 53 de caja y bigotes (boxplot) se presenta la distribución y comparación de dos conjuntos de datos: avance antes y avance después. Este gráfico es una herramienta estadística descriptiva que permite visualizar de manera concisa las principales características de un conjunto de datos, incluyendo la mediana, los cuartiles, el rango intercuartílico y los valores atípicos (outliers).

Al comparar las dos cajas, se pueden observar las siguientes diferencias:

- **Aumento general en los valores:** La mediana ha aumentado, lo que indica un incremento en los avances (metros).
- **Menor dispersión:** Los datos están más concentrados alrededor de la mediana, lo que sugiere una mayor consistencia en los resultados.

- **Reducción de valores atípicos:** Se han eliminado o reducido los valores extremadamente bajos, lo que indica una mejora en la calidad de los resultados.

4.1.5. Fase Controlar

Tas observar los resultados obtenidos en la prueba piloto con 35 disparos tras las actividades de disciplina operativa realizadas; se define implementar estrategias que permitan controlar y poder asegurar que las mejoras implementadas sean sostenibles a largo plazo y no se pierdan con el tiempo.

El objetivo de esta fase es estandarizar las actividades planteadas en la fase de mejorar con la finalidad que todas las guardias tengan el mismo criterio; así como el personal nuevo.

4.1.5.1 Instrumentos de Control

Implementar actividades y herramientas que permitan mejorar la disciplina operativa y cumplir con lo especificado en las mallas de perforación ya estandarizadas.

- Formatos de verificación y cumplimiento de estándares y procedimientos en la actividad de perforación con jumbo y chispeo.
- Procedimiento para el desarrollo del comité de excelencia operativa.
- Procedimiento de investigación de disparos deficientes.
- Control de indicadores semanales

A. Formatos de verificación y cumplimiento de estándares y procedimientos en la actividad de perforación con jumbo y chispeo.

Con la ayuda de este formato se puede verificar el cumplimiento de estándares y procedimientos de las actividades de perforación y chispeo estableciendo un marco de control y cumplimiento. que garantiza que las operaciones se realicen conforme a los estándares técnicos y normativos y ayuda a mantener la consistencia en los procedimientos, independientemente del personal operativo.

Los formatos de verificación son herramientas clave para asegurar que las operaciones de perforación y chispeo se realicen de manera eficiente, segura y con altos estándares de calidad. Su

implementación no solo minimiza riesgos, sino que también optimiza recursos y mejora la confiabilidad de los resultados y proporciona un registro histórico que respalda la ejecución de las actividades conforme a los procedimientos.

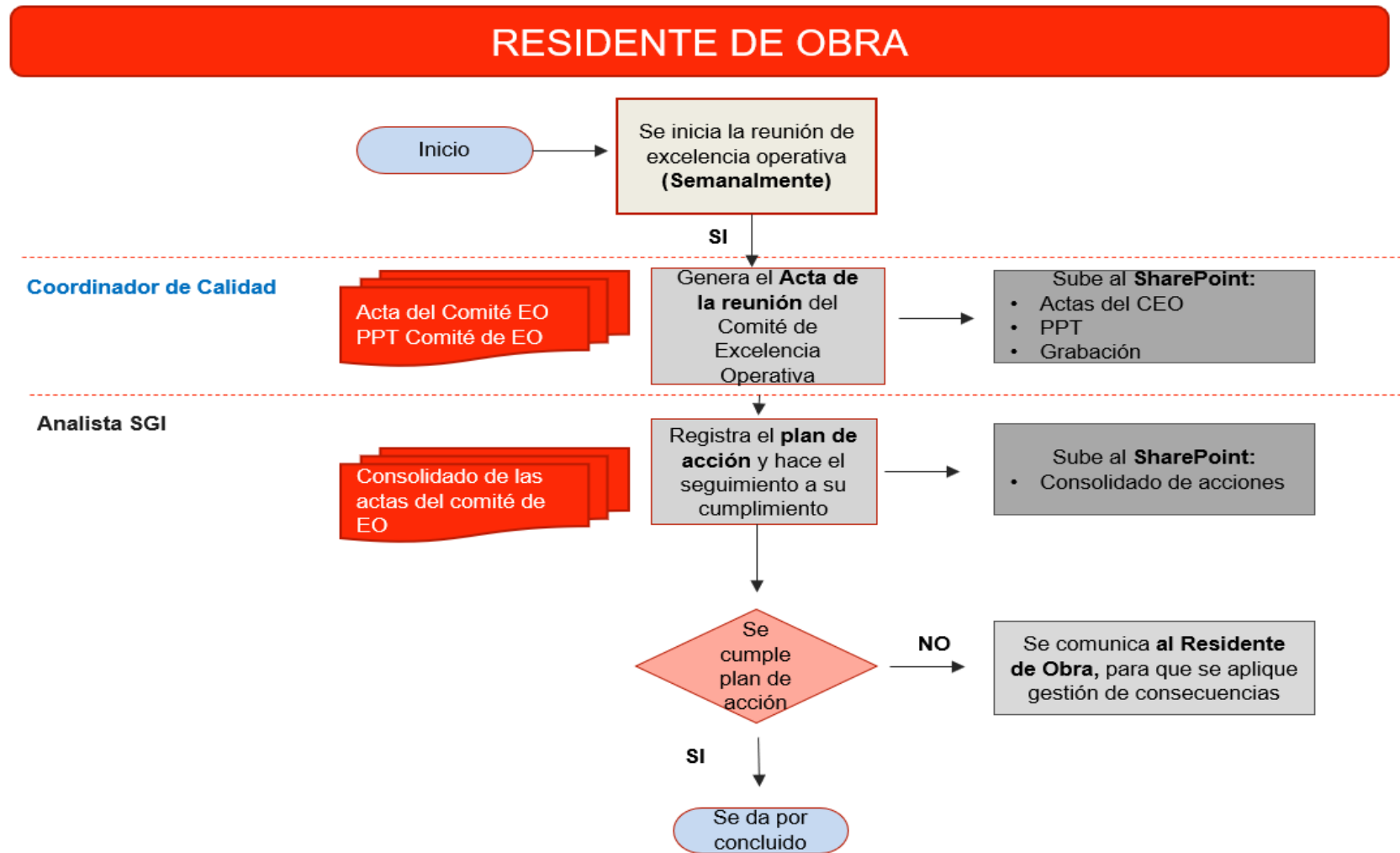
B. Procedimiento para el desarrollo del comité de excelencia operativa.

En pudo observar que las reuniones de excelencia operativa que se ejecuta de manera semanal no tenían una estructura y responsabilidades definidas; es por ello que se parametriza el desarrollo de la reunión de excelencia operativa con la finalidad de garantizar que el enfoque sea sistemático, organizado y orientado a resultados, contribuyendo a la mejora continua y cumplimientos de los objetivos.

En la figura 40 se puede observar ya una estructura parametrizada del desarrollo de la reunión de excelencia operativa.

Elementos clave de la gráfica: En la figura 40 se tiene definido lo siguiente:

- **Roles definidos:**
 - El Coordinador de Calidad gestiona la documentación.
 - El Analista SGI da seguimiento a los planes de acción.
 - El Residente de Obra supervisa y asegura la aplicación de medidas correctivas si es necesario.
- **Uso de herramientas digitales:**
 - SharePoint se utiliza como plataforma para centralizar documentos y asegurar la trazabilidad.
- **Foco en la mejora continua:**
 - Este flujo garantiza que los problemas sean tratados con planes específicos y que las acciones sean evaluadas para prevenir recurrencias.

Figura 40*Procedimiento de reunión de excelencia operativa*

Fuente: Acuerdos de la Reunión de excelencia operativa

C. Proceso de gestión e investigación de disparos deficientes.

Investigar los disparos deficientes es fundamental para identificar y corregir las fallas en los procesos de perforación y voladura, minimizando riesgos y optimizando el desempeño general de las operaciones. Además, fomenta un entorno de trabajo seguro, eficiente y en cumplimiento con estándares técnicos y regulatorios.

Para asegurar correctamente y cerrar el proceso de investigación por disparo deficiente se realiza una secuencia de pasos que son los siguientes:

1. Detección de condiciones anómalas

Se evalúa la eficiencia del disparo (< 3.5) o si existe sobre rotura ($> 10\%$)

- **Resultados normales:** Si los parámetros están dentro de los estándares, la información se registra en la base de datos de productividad sin necesidad de acciones adicionales.
- **Resultados deficientes:** Si los indicadores no cumplen con los estándares, el problema se reporta para iniciar una investigación.

2. Notificación inicial

El coordinador de Calidad Informa la anomalía durante la reunión matinal y mediante correo electrónico y solicita al Ingeniero Supervisor que realice la investigación correspondiente en el registro estandarizado.

3. Investigación de las fallas

El responsable es el ingeniero Supervisor en un plazo de 96 horas, utilizando el formato F-COR-OPE-33 "Informe de Investigación de Fallas de Perforación y Voladura", identificando las causas raíz del disparo deficiente y propone acciones correctivas.

4. Registro y seguimiento

La analista SGI (Sistema de Gestión Integrado); consolida los acuerdos de investigación y seguimiento en registros oficiales, registra un plan de acción, asegurando que se cumplan las actividades correctivas.

5. Cierre del proceso

Se verifica si el plan de acción se cumplió completamente:

- **Si cumple:** Las acciones se ejecutaron con éxito, el caso se cierra formalmente en el sistema y el proceso se da por concluido.
- **No cumple:** Se notifica al Residente de Obra para aplicar medidas disciplinarias frente al incumplimiento según corresponda.

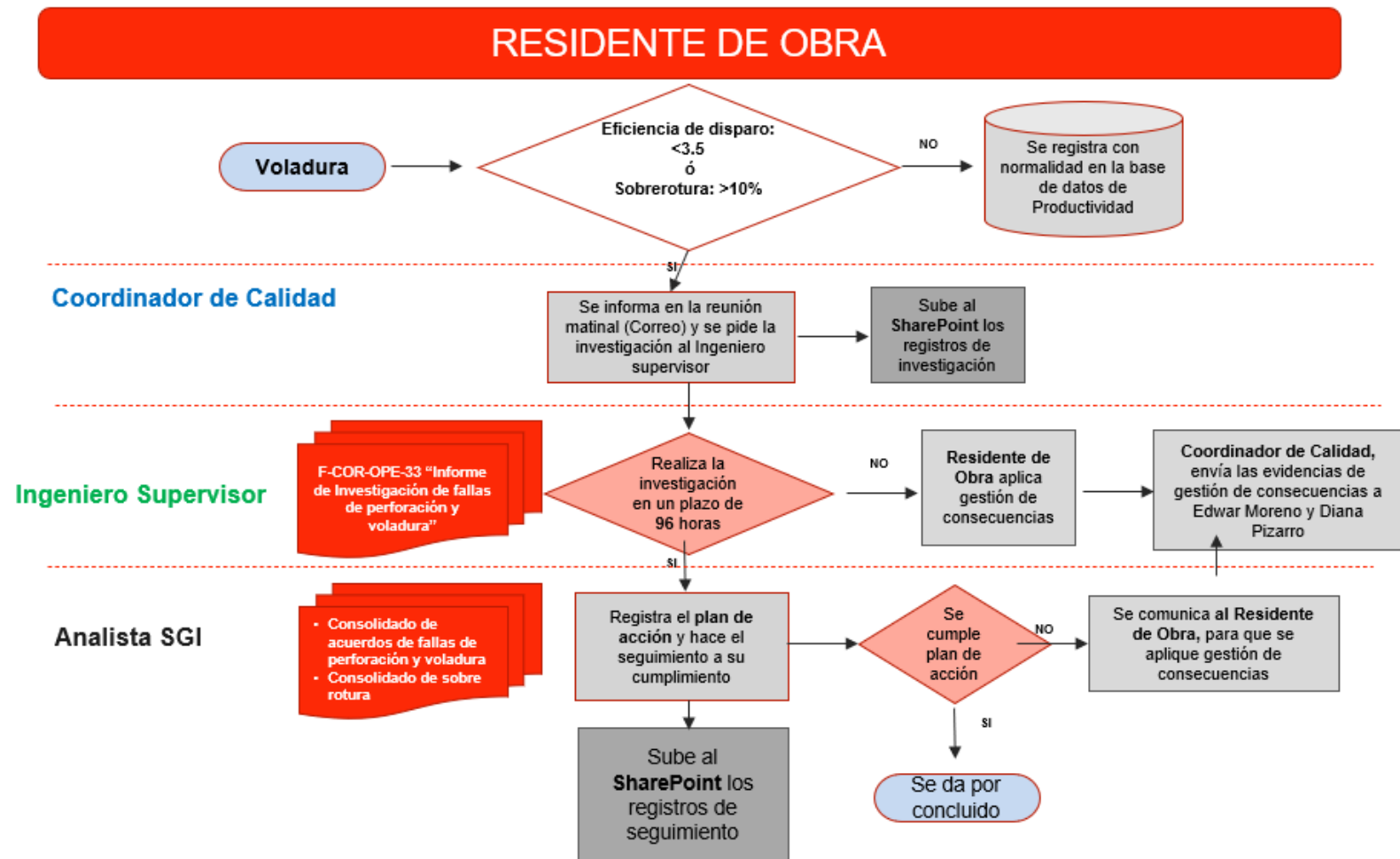
A continuación, se representa los pasos mediante un flujograma del proceso de investigación en la figura 41.

D. Control de indicadores

Para llevar un control de indicadores se realizó un dashboard que se expone de manera semanal en las reuniones de excelencia operativa que permite mostrar el porcentaje de avance semanal. Este dashboard permite tener un mejor control de los indicadores de avance y producción, además de la información de avances programados versus los ejecutados y el promedio de avance por tipo de labor, tal como se muestra en la figura 41.

Figura 41

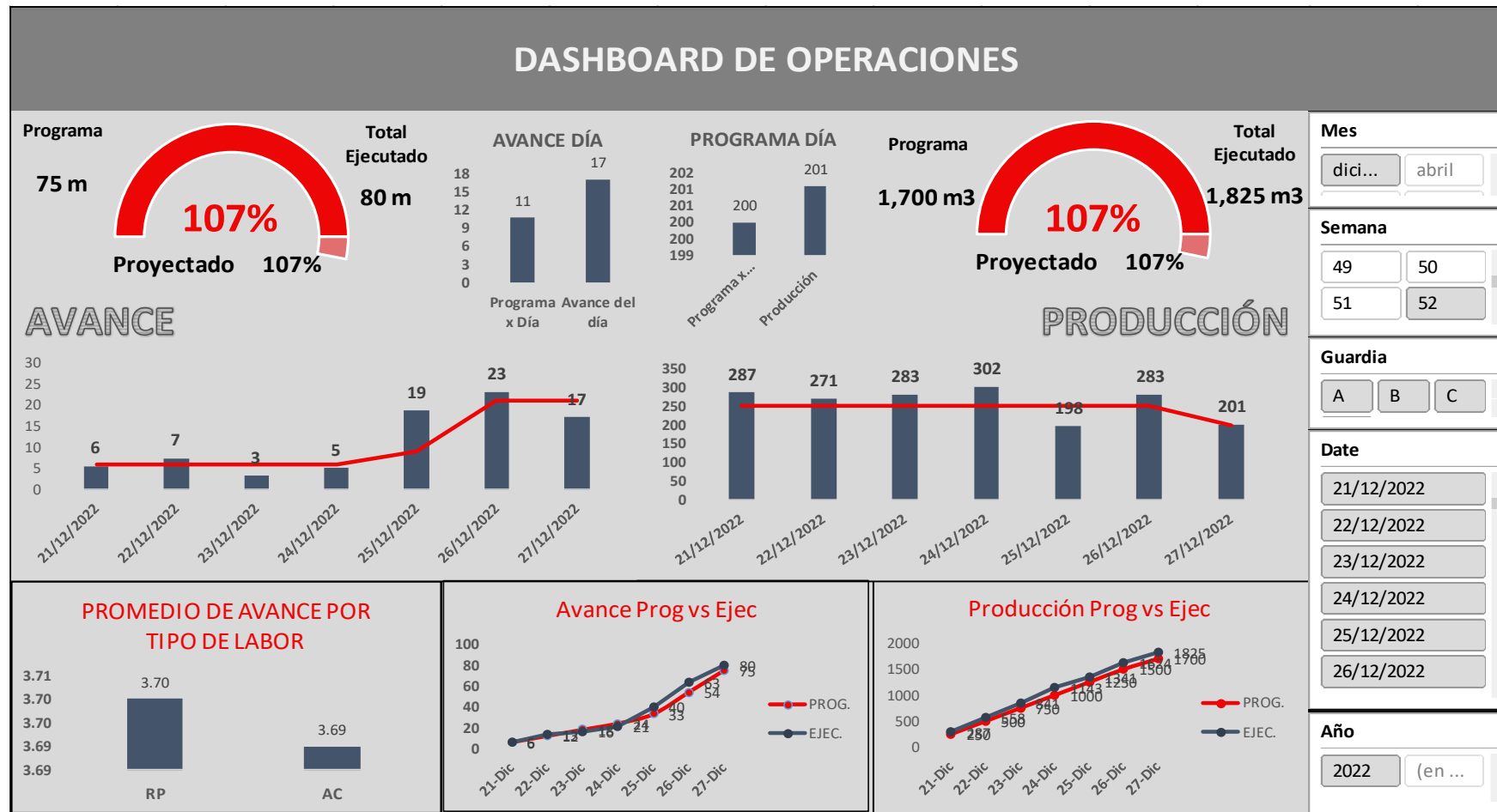
Flujograma del proceso de investigación por disparo deficiente



Fuente: Acuerdos de la Reunión de excelencia operativa

Figura 42

Dashboard de operaciones



Fuente: Elaboración propia

Capítulo V: Resultados y Discusiones

5.1. Resultados de la Investigación

El análisis realizado en la etapa de Medir muestra que la desviación de la malla de perforación es uno de los factores con mayor impacto en el cumplimiento del programa mensual de avance. Según los datos recolectados, la variación en el número de taladros perforados respecto a los requeridos en la malla contribuye significativamente al deficiente avance por disparo. Este problema fue cuantificado en el modelo de regresión, donde se concluyó que la desviación de la malla explica el 60.98% de la variabilidad en el avance por disparo.

En la etapa de Analizar, se determinó que la desviación promedio de la malla era de 14 taladros, lo que genera inconsistencias en el avance y afecta directamente la productividad. Este hallazgo fue validado mediante gráficos de efectos principales y análisis de sensibilidad, los cuales

evidencian que reducir la desviación en la ejecución de la malla a un rango cercano a 5 taladros de diferencia, se lograría optimizar el avance promedio al estándar deseado de 3.5 metros por disparo.

Durante la fase de Mejorar, se implementaron controles específicos para abordar este problema:

- ✓ Capacitación del personal en la correcta interpretación y aplicación de las mallas de perforación
- ✓ Supervisión en campo, con verificaciones continuas de la precisión en el pintado de las mallas mediante plantillas y pintado de gradiente y colocados de puntos de dirección
- ✓ Premiación a los colaboradores que destaquen operativamente y con prácticas seguras.
- ✓ Flujogramas de actividades y procesos estandarizados, que guían cada etapa del proceso para minimizar errores.

Los resultados preliminares tras estas mejoras indican un incremento en el promedio del avance, Además, la variabilidad del proceso disminuyó significativamente, con una desviación estándar de 0.0261, lo que sugiere que el proceso es ahora más consistente y confiable.

Estos hallazgos subrayan la importancia de enfocar los esfuerzos en reducir la desviación de la malla para alcanzar los objetivos del cliente, mejorar la eficiencia operativa y minimizar pérdidas económicas.

5.1.1. Resultados post implementación de la metodología (Primer semestre del año 2023)

Los resultados en el primer semestre del 2º año 2023 muestran las mejoras en los indicadores de avance por disparo y número de disparos ejecutados al día.

Se evidenció que todos los meses del primer semestre se cumplió con el programa mensual de avance y en algunos se superó, no teniendo penalidades y pérdida de ventas, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16*Cuadro de avance del primer semestre*

KPI	Objetivo 2023	Unid	Prom 2022	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23
Avance/ disparo	3.5	m	3.39	3.62	3.70	3.57	3.60	3.58	3.56
N° disparos/día	10	m	6	10.00	10.00	11.00	12.00	10.00	10.00
Penalizaciones por incumplimiento de programa	0	\$	10 000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pérdida de venta	<15% (2022)	\$	1 151 820	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Porcentaje de avance del programa mensual de avance	100%	%	75%	102%	111%	108%	100%	120%	104%

Fuente: Reporte de costos

5.1.2. Encuesta de satisfacción al cliente

Con la finalidad de conocer el grado de satisfacción de nuestro cliente y su percepción en cuanto al servicio en este último semestre se implementó una encuesta para recibir los comentarios y así mejorar la calidad del servicio.

Los resultados se miden de acuerdo a los parámetros mostrados en la tabla 2.

Esta encuesta es realizada por el dueño de contrato de la empresa titular (Superintendencia Mina), supervisor de contrato (Supervisor de compañía minera), Superintendencia de seguridad y superintendencia de medio ambiente teniendo como resultado “BUENO”

En el primer semestre del 2022 se tuvo un puntaje de 41, el segundo semestre del 2022 un puntaje de 48 y en el primer semestre del año 2023 un puntaje de 54.

Tabla 17

Resultados de encuesta de satisfacción al cliente 2022 y 2023

CRITERIOS EVALUADOS		RESULTADO 2022 - I	RESULTADO 2022 - II	RESULTADO 2023-I
LICITACION	I Accesibilidad a los canales de comunicación para información del servicio (web, correo, teléfono, atención personalizada)	4	4	5
	II Rapidez en la atención o modificaciones de la propuesta técnica económica o del contrato	3	4	4
	III Claridad de la información presentada en la propuesta técnica económica del servicio	4	4	4
	IV Cumplimiento de programa / cronograma de avance del servicio	2	4	5
CALIDAD DEL SERVICIO	V Estado y/o operatividad de la maquinaria, equipos, vehículos u otros	3	4	4
	VI Estado y/o cuidado de la infraestructura utilizada (Instalaciones)	3	4	4
	VII Desempeño del personal de dirección asignado para el servicio	3	4	5
	VIII Desempeño del personal operativo para el servicio	3	4	5

IX	Respuesta eficaz y oportuna ante situaciones imprevistas.	4	4	5
X	Desempeño ambiental	4	4	4
XI	Desempeño en seguridad y salud ocupacional	4	4	4
XII	Atención oportuna de quejas y reclamos, en caso exista	4	4	5
RESULTADO DE LA EVALUACIÓN		41	48	54

Fuente: Sistema Integrado de gestión

5.2. Discusión de la Investigación

- Según la tesis de Quiroz Alegría (2016), desarrollada en la mina Esmeralda, se observa un enfoque coincidente en cuanto a la transformación de los procesos operativos mediante la aplicación de la metodología Lean. En ambos estudios, se evidencia una mejora significativa en los indicadores clave de desempeño (KPI), como productividad, eficiencia y cumplimiento de metas operativas. Sin embargo, mientras que Quiroz aborda una transformación a nivel organizacional y de cultura operativa, el presente estudio se concentra en un proceso específico: el avance por disparo, aplicando adicionalmente herramientas del enfoque Six Sigma para reducir la variabilidad del proceso.
- Según la investigación realizada por Moreano Panti (2022), centrada en los procesos de perforación y voladura en la mina El Porvenir, coincide con el enfoque de esta tesis en cuanto a la optimización técnica de las mallas perforadoras y la importancia del análisis estadístico para validar las mejoras propuestas. Ambos estudios plantean la necesidad de implementar mejoras de forma progresiva, utilizando pruebas piloto para evaluar su impacto.
- Según la tesis de Cruz Ccahuana (2019), desarrollada en la Unidad Minera Antapaccay, destaca el uso del enfoque Lean Six Sigma, específicamente el ciclo DMAIC, al igual que el presente trabajo. En ambos casos, se identifican variables críticas que afectan los KPI operativos, y se demuestra que la reducción de la variabilidad y la estandarización

contribuyen significativamente a mejorar la utilización de los recursos, particularmente de los equipos de perforación.

- Según el estudio de Espinoza y Carreño (2022) ofrece una comparación directa, ya que también evalúa el avance por disparo como indicador clave, concluyendo que la mejora de la malla de perforación y la aplicación de Lean Six Sigma permitieron reducir el porcentaje de resultados fuera de especificación. Estos hallazgos son coherentes con los resultados obtenidos en esta tesis, donde se logró un incremento en la capacidad del proceso y una reducción de defectos por unidad.
- Según la tesis de Aslla Clavijo (2022), aunque se basa en la metodología Kaizen y no específicamente en Lean Six Sigma, aporta una visión local sobre la implementación de herramientas de mejora continua en minería subterránea. Su trabajo demuestra que incluso mediante metodologías complementarias, como las 5S, es posible obtener mejoras sustanciales en la productividad y la eficiencia operativa. El presente estudio reafirma este enfoque, al demostrar que la estandarización del trabajo y la disciplina operativa son claves para lograr mejoras sostenidas en procesos críticos como el avance por disparo.

Conclusiones

- La implementación de la metodología Lean Six Sigma permitió mejorar la capacidad del proceso de avance por disparo, incrementando su índice Ppk de -0.06 a 4.23. Como resultado, la incidencia de avances menores a 3.5 m se redujo del 48.32% al 0%, eliminando penalidades asociadas a la valorización mensual en ECM IESA S.A. – UP ANIMÓN.
- Se establecieron indicadores eficientes para medir la capacidad del proceso de avance por disparo, tales como el índice Ppk, la media de avance y la desviación estándar. Estos indicadores permitieron realizar un diagnóstico claro del nivel de variabilidad y desempeño del proceso, facilitando la identificación de oportunidades de mejora con un enfoque técnico y cuantitativo.
- Se aplicaron herramientas de mejora continua como el análisis de Pareto, el diagrama de Ishikawa y el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF), que permitieron identificar las causas principales de la variabilidad en el proceso.
- La implementación del método Six Sigma permitió mejorar la capacidad del proceso de avance por disparo, aumentando la media del avance de 3.41 m a 3.65 m y reduciendo la desviación estándar de 0.54 a 0.10, lo que refleja una mayor estabilidad y control del proceso evitando pérdidas de hasta \$190,000 mensuales.

Recomendaciones

- Para asegurar la sostenibilidad de la mejora obtenida con la implementación de Lean Six Sigma, se recomienda al área de costos y productividad establecer un sistema de monitoreo continuo del índice Ppk y la incidencia de avances menores a 3.5 m. Además, se sugiere al coordinador del sistema de gestión de calidad realizar auditorías trimestrales para garantizar el cumplimiento de los estándares y prevenir desviaciones que puedan generar nuevamente penalidades en la valorización mensual.
- Para garantizar el uso efectivo de los indicadores establecidos (Ppk, media de avance y desviación estándar), se recomienda al coordinador del sistema de gestión de calidad integrarlo al sistema de gestión de calidad mediante fichas de indicadores que permita visualizar tendencias y alertar sobre desviaciones significativas.
- Se recomienda al área de costos y productividad mantener el uso sistemático de herramientas de análisis como Pareto, Ishikawa y AMEF para la identificación y resolución de problemas críticos. Además, es importante establecer revisiones periódicas de estos análisis para actualizar las causas raíz y evaluar la efectividad de las soluciones implementadas.
- Se recomienda a la residencia y el área de costos y productividad estandarizar las mejores prácticas identificadas durante la implementación de Six Sigma mediante la elaboración de procedimientos operativos y su difusión entre el personal involucrado. Además, es clave fomentar una cultura de mejora continua, incentivando la identificación de nuevas oportunidades de optimización que permitan maximizar la estabilidad del proceso y prevenir pérdidas económicas.

Referencias bibliográficas

- Alderete, V. P., Colombos, A. L., & Di Stefano, V. (2003). *Six Sigma*. Buenos Aires.
- Anchiraco Giraldo, A. L., & Rojas Oré, K. R. (2020). *Optimización del sistema de acarreo y transporte en labores de preparación de las zonas de profundización mediante la metodología Six Sigma operada por la ECM Zicsa en la Unidad Minera Inmaculada* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Aslla Clavijo, Y. (2022). *Incremento de la productividad con el método KAIZEN de mejora continua en la mina San Carlos Lampa – Puno* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco].
- Bastidas Clemente, I. (2020). *Mejoramiento del ciclo de minado para incrementar productividad en la Unidad Operativa Untuca – Empresa Cori Puno SAC – 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Borror, C. M. (2009). *The Certified Quality Engineer Handbook* (3rd ed.). ASQ Quality Press.
- Bustamante, R. (2015). *Métodos de valorización de empresas mineras: un análisis para el caso peruano 2008–2013*.
- Chinchay Jácome, J. C. (2020). *Diseño de malla de perforación basado en los modelos geomecánicos para optimizar la voladura en minería subterránea – 2018* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].
- Chuquín Orihuela, R., Farro Yamaguchi, A., & Valdivia Díaz, F. (2017). *Diagnóstico operativo de la empresa ABC* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Compañía Minera Chungar S.A.C. & IESA S.A. (2017). *Contrato para la prestación de servicios*.
- Cruz Ccahuana, J. (2019). *Optimización del proceso de perforación primaria con el método Lean Six Sigma en la Unidad Minera Antapaccay* [Tesis, Universidad de Chile].
- Espinoza, F., & Carreño, J. (2022). *Control operativo de los metros de avance por disparo mediante la metodología Lean Six Sigma* [Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- EXSA. (2019). *Manual de voladura*. Lima.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2009). *Control estadístico de calidad y Six Sigma* (2.^a ed.). McGraw-Hill.

- Infantas Barrionuevo, D. E. (2021). *Gestión para la optimización del proceso de perforación y voladura para incrementar el avance por disparo en las labores de la unidad minera Carahuacra – Volcan Compañía Minera S.A.A., a través de la aplicación del método de mejora continua PDCA* [Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- IESA. (2021). *Manual del Sistema de Gestión Integrado (M-COR-SGI-01)*. Sistema Integrado de Gestión IESA.
- IESA. (2021). *Procedimiento de gestión P-COR-SGI-09: Seguimiento, medición y análisis*. Sistema Integrado de Gestión IESA.
- IESA. (2022). *Estándar de desate (EST-ANI-MIN-03)*. Sistema Integrado de Gestión IESA.
- IESA. (2022). *Estándar de perforación (EST-ANI-MIN-01)*. Sistema Integrado de Gestión IESA.
- IESA. (2022). *Estándar de sostenimiento (EST-ANI-MIN-04)*. Sistema Integrado de Gestión IESA.
- López Jimeno, C. (2019). *Manual de voladura*. FAMESA Explosivos.
- Lledó, P. (2013). *Gestión Lean y Ágil de proyectos* (2.^a ed.). ISBM.
- McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L., & Gupta, P. (2004). *The Six Sigma Black Belt Handbook*. Digital Engineering Library.
- Minitab. (s.f.). *Acerca de la empresa*. <https://www.minitab.com/es-mx/company/>
- Moreano Panti, E. (2022). *La mejora en la gestión de los procesos de perforación y voladura para incrementar el cumplimiento de los programas de preparación y desarrollo a cargo de la empresa IESA S.A. en la mina El Porvenir* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Organización Internacional de Normalización. (2015). *Norma Internacional ISO 9000:2015: Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario*. Ginebra, Suiza.
- Ortega, M., & Aparicio, V. (2019). Influencia de la optimización de los estándares en la operación minera subterránea.
- Pablo Lledó. (2013). *Gestión Lean y Ágil de proyectos* (2.^a ed.). ISBM.
- Picoy Almerco, A. (2019). Disciplina operativa durante el carguío en el rendimiento de la emulsión encartuchada 1 1/4" - Acceso 575 Mina Ticlio 2018. *Revista de la Universidad Alas Peruanas (UAP)*.

- Plan de minado – Mina Animón. (2022). Volcan Compañía Minera S.A.A.
- Quiroz Alegría, R. A. (2016). *Implementación de metodología Lean en minería subterránea: Estudio de caso Esmeralda* [Tesis].
- Volcan Compañía Minera S.A.A. (2022). *Resumen ejecutivo de la 2da modificatoria de la evaluación de impacto ambiental de la mina Animón*.
- Voehl, F., Harrington, J., Mignosa, C., & Charron, R. (2014). *The Lean Six Sigma Black Belt Handbook*. CRC Press.

Anexos

Anexo 1

Marco contextual

1.1 Ubicación

La mina Animon constituye un yacimiento minero que alberga minerales de zinc, plomo, plata y cobre, siendo de propiedad de Chungar SAC. Este emplazamiento se halla cordillera los Andes, en la jurisdicción del Departamento de Pasco, a una altitud de 4,600 metros. Se localiza a 46 kilómetros al sudeste de la urbe de Cerro de Paseo, tal como se detalla en la ilustración 05. Las coordenadas geográficas exactas:

- 76°25'30" E. ·
- 11°00'26" N.

1.2 Acceso

Se disponen de tres rutas de acceso desde la ciudad de Lima hacia la U.E.A. Animon, siendo la más preeminente la que transita por la Carretera Central, arteria vial que enlaza las ciudades de La Oroya y Cerro de Pasco, hasta desembocar en la Mina Animon, cubriendo una distancia de 304 km, la cual se consume en un lapso de 7 horas de recorrido. Desde este punto de convergencia, se toma una bifurcación hacia el Noroeste, adentrándose en una trocha carrozable que serpentea a través de las concesiones mineras de la Compañía Minera Huarón S.A., cruzando el centro poblado de San Agustín de Huaychao, hasta llegar al emplazamiento de la Mina Islay.

Tabla 18

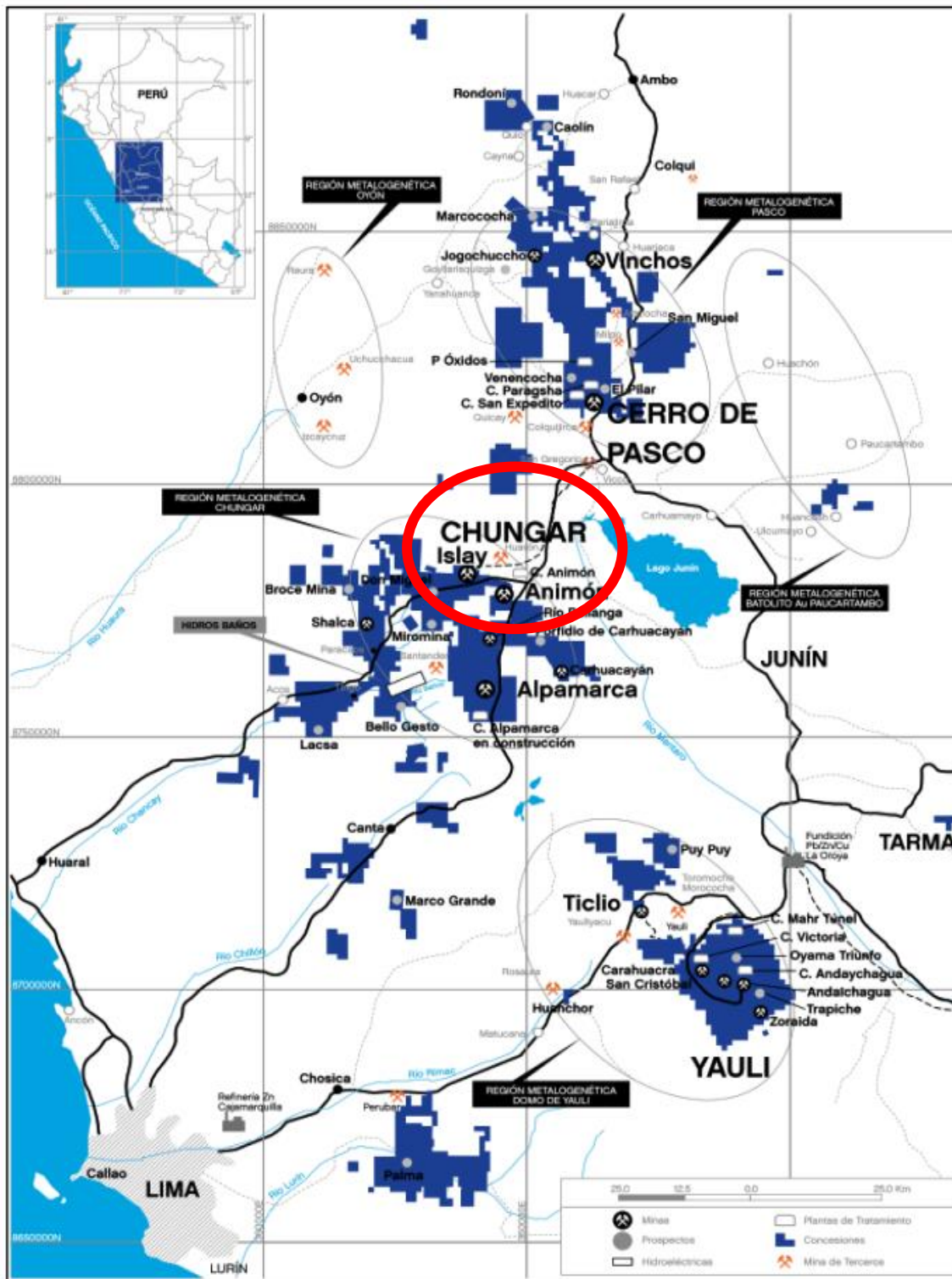
Accesos mina

Acceso	Distancia Km	Tiempo Hrs.	Tipo de Vía	
Lima – La Oroya – Cerro de Pasco – Animon	304	7	Carretera Asfaltada	
Lima – Huaral – Animon	225	5	Trocha Asfaltada	Carrozable/Carretera
Lima – Canta - Animon	201	4	Trocha Asfaltada	Carrozable/Carretera

Fuente: Elaboración propia

Figura 43

Ubicación de la mina



Fuente: Ventas y marketing Volcán Compañía Minera S.A.A.

Figura 44

Rutas Lima - Chungar



Fuente: Elaboración propia

1.3. Clima

Animon se ubica enclavada en la región altoandina, abarcando altitudes que fluctúan entre los 4000 y 4800 m.s.n.m. dentro de los dominios de la región natural de la Puna con un clima lluvioso semifrío, con carencias significativas de precipitaciones durante el período comprendido entre mayo y septiembre, y con una humedad relativa clasificada como húmeda.

A nivel local, la temperatura media multianual del aire se establece en 3.8 °C. De noviembre y abril presentan el valor promedio más alto, alcanzando los 4.6 °C, mientras que el mes de julio muestra el valor más bajo, con 2.71 °C. En cuanto a las precipitaciones, el mayor índice mensual

se registró en febrero, con 147.7 mm, y el menor en julio, con 9.7 mm, acumulando un total anual de 907.9 mm.

Se observa un aumento en la rapidez del viento entre junio y septiembre, alcanzando máximas de 2.0 m/s en la estación Animon durante estos períodos. Por otro lado, las rapideces mínimas se registran en 1.2 m/s. Los vientos predominantes provienen principalmente del norte (30.4%), del este (26%) y del noreste (19%).

Según el Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1976), el área de investigación está ubicada en la zona de Tundra pluvial – Alpino Tropical.

1.4 flora

Durante la época húmeda, se identificaron 69 especies de flora, y en la temporada seca, se registraron 51 especies de flora. Del total, de especies registradas, se obtuvo:

- Seis especies se encuentran protegidas por la legislación nacional (D.S. N°043-2006-AG).
- Una especie de plantas (Subarbusto) en la lista roja de la IUCN.
- Una especie de plantas (Hierba) incluida en los apéndices CITES.
- Diez especies de plantas con uso socioeconómico.

1.5 fauna

a) Antrópodos

Los artrópodos están conformados por los insectos, arácnidos, crustáceos y miriápodos. En el estudio se identificaron 91 especies de artrópodos, de las cuales ninguna se encuentra incluida en algún estatus de conservación, ni se registraron clases incluidas en la lista IUCN y en el listado CITES. Tampoco se registraron clases endémicas. Asimismo, no se registraron clases de uso poblacional.

b) Anfibios y reptiles

De acuerdo al estudio de anfibios y reptiles en el área de estudio, se identificó una sola especie de anfibio, siendo el sapo espinoso. En cuanto a las especies incluidas en algún estatus de conservación. No obstante, se registró a la especie *Rhinella spinulosa* o sapo común en la lista roja de la IUCN, en la categoría Preocupación menor (LC). Dicha especie no se encuentra en el listado CITES.

c) Aves

De acuerdo a la evaluación de aves que se realizó en el sector de estudio se identificó 44 clases de aves, de las cuales se identificaron tres clases protegidas por la legislación peruana, siendo el Flamenco chileno, Gallareta gigante y Cóndor andino. De estas especies el Flamenco chileno y el Cóndor andino, así como la Bandurria andina están incluidas en la lista roja de la IUCN. Mientras tanto, se registraron siete clases que están en los apéndices CITES. También, la especie endémica única es el Minero andino (*Geositta saxicolina*). Por otro lado, en total son 12 las especies que presentan algún interés económico y son de uso local.

d) Mamíferos

De acuerdo a la evaluación de mamíferos que se realizó en el sector de estudio se registraron siete clases de mamíferos, siendo Ratón vespertino, Ratón de vespertino precioso, Ratón de humedales andino, Zorro colorado y Zorrino. Las siete especies registradas (Ratón vespertino, Ratón de vespertino precioso, Ratón de humedales andino, Vizcacha chilena, Zorro colorado y Zorrino) se encuentran incluidas en la lista roja de la IUCN. Asimismo, se registró una especie (Zorro colorado) incluida en los apéndices CITES. Además, se registró una única clase endémica (Ratón campestre de Junín). Ninguna de las clases registradas se encuentra protegidas por la legislación nacional vigente (D.S. N° 004-2014-MINAGRI). Además, se encontraron dos especies de interés económico y/o utilizadas localmente (Vizcacha chilena y Zorrino).

1.6 Geología

Las unidades litoestratigráficas observables en la región están constituidas por rocas sedimentarias denominadas "Capas Rojas" y plutones intrusivos conocidos como hipabisales. En Chungar, se encuentran las "Capas Rojas" del Grupo Casapalca, las cuales se extienden de manera significativa a través de la Cordillera Occidental. Estas capas se componen de margas, areniscas y arcillitas de tonalidades rojizas o verde grisáceas, organizadas en estratos finos, con diversas capas de conglomerados y horizontes lenticulares de calizas y areniscas grises intercalados. Se estima que el grosor total de estas rocas sedimentarias es de aproximadamente 2,385 metros, y se datan en el Cretácico Superior - Terciario Inferior (Eoceno).

El Marco Geológico-geomorfológico se completa con una posterior erosión glacial ocurrida durante el Pleistoceno, la cual tuvo un impacto significativo en la región. Como resultado de esta

actividad glaciaria, se originaron subsidencias y la formación de grandes lagunas, modelando aún más el paisaje geológico de la zona.

Exposiciones de las Capas Rojas pertenecientes a la Formación Casapalca, que incluyen estratos de margas, areniscas y conglomerados.

Figura 45

Afloramiento de capas rojas, margas y conglomerados



Fuente: Reposito institucional UNDAC

1.6.1 Geología Local

Chungar está compuesto litológicamente por rocas sedimentarias que indican un tiempo de exposición y erosión intensa. Las "Capas Rojas" del Grupo Casapalca muestran fases de sedimentación: la fase más antigua es la más espesa, con un grosor de 1,400 a 1,500 metros, mientras que la fase más joven tiene un grosor de 800 a 900 metros. Cada ciclo se distingue por la presencia de conglomerados y areniscas en la parte inferior, y por horizontes de conglomerados y volcánico-clásticos en la parte superior. La distribución de los clastos y sus orientaciones sugieren que los materiales provienen del Este, posiblemente de la región que actualmente ocupa la Cordillera de los Andes.

1.6.2 Geología Regional

La Unidad Minera Animon se sitúa en el sector meridional de un yacimiento hidrotermal de vetas filonianas, donde predominan estructuras con orientación este-oeste y buzamiento hacia el norte.

Las rocas anfitrionas pertenecen principalmente a la Formación Casapalca, compuesta por margas, areniscas margosas y conglomerados. Además, se encuentran intrusiones de monzonita cuarcífera y secuencias volcánicas del Grupo Calipuy, junto con la presencia de la Formación Huayllay, en la figura 46 se muestra la columna estratigráfica.

Figura 46

Columna estratigráfica

UNIDADES CRONOESTRATIGRAFICAS										UNIDADES LITO ESTRATIGRAFICAS										SUCCESO GEOLOGICO		MILLONES AÑOS		ROCAS INTRUSIVAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
ERATEMA		SISTEMA		SERIE		EDAD		GRUPO		FORMACION		UNIDAD		COLUMNA		SIMBOLO		GROSOR mts		LITOLOGIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
MESOZOICO		CRETÁCICO		SUPERIOR		PALEOCENO		INFERIOR		EOCENO		CALIPUY		C A S A P A L C A		INFERIOR		MEDIO		SUPERIOR		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A		C A S A P A L C A</	

Fuente: Reposito institucional UNDAC

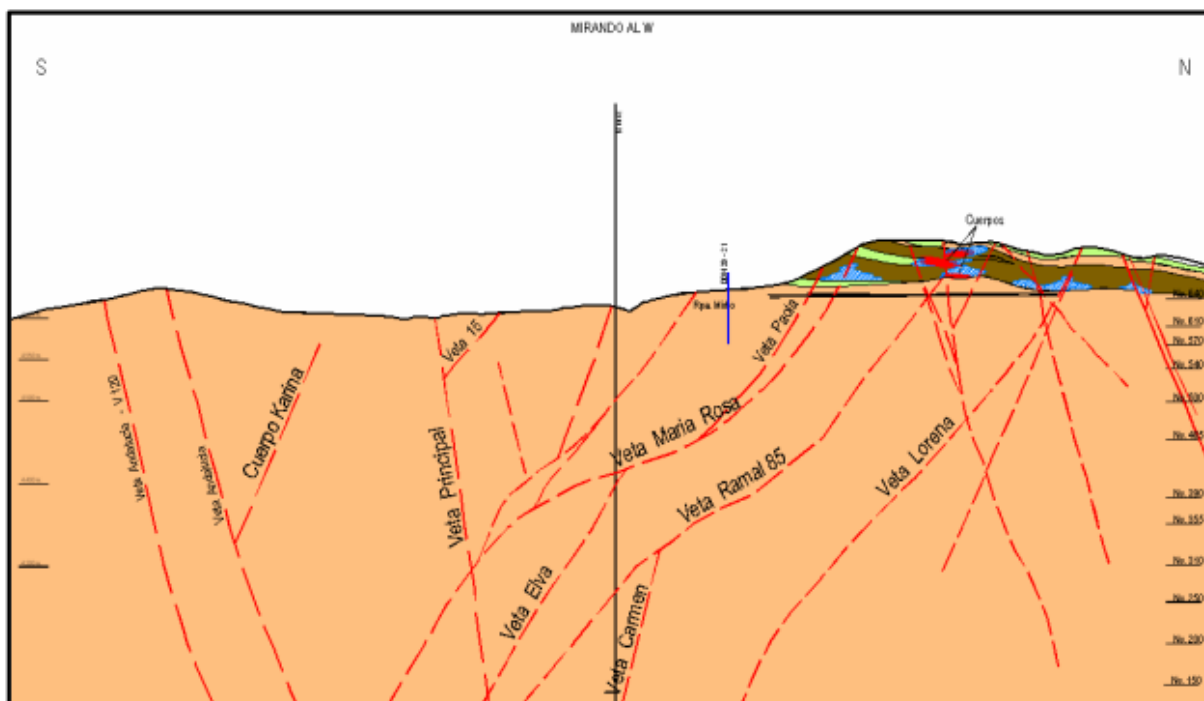
1.7. Mineralización

De manera inmediata a la formación de las fallas geológicas, quienes se originaron en la zona central del distrito, las soluciones hidrotermales primarias permeabilizaron y fluyeron a través de estas discontinuidades, propiciando su génesis a temperaturas extremadamente elevadas.

Los minerales disueltos en solución se precipitaron en el siguiente orden para genético: cuarzo lechoso, pirita, enargita y tetraedrita.

Figura 47

Mineralización



Fuente: Plan de minado 2022– Mina Animón

La enargita se encuentra en cantidad significativa en las zonas centrales del distrito, mientras que la tetraedrita, con bajo contenido de plata, predomina en las zonas periféricas al área de enargita. Este proceso de precipitación ocurrió durante un período prolongado, facilitando la formación de cristales de tamaño medio.

El desplazamiento diferencial de las paredes de la veta permitió que los minerales depositados en el primer ciclo fueran fragmentados, infiltrados y posteriormente cementados por los minerales del segundo ciclo de mineralización, siguiendo este orden paragenético: cuarzo lechoso, pirita, marmatita y galena.

El segundo ciclo de precipitación duró más que el primero, con un enfriamiento más gradual, lo que resultó en cristales de mayor tamaño.

La fracturación y el incremento subsiguiente en la permeabilidad de los minerales depositados facilitaron el flujo de la nueva solución hidrotermal de baja temperatura.

Los precipitados correspondientes exhiben texturas colomorfas y botroidales, con una cristalización de grano fino, esto indica una rápida precipitación en un período de tiempo relativamente breve. Lo característico de este ciclo es la deposición constante y copiosa de carbonatos, iniciando con siderita y evolucionando gradualmente hacia dolomita, rodocrosita y calcita. A lo largo de este ciclo, además de los carbonatos, se presentan otros minerales., se encuentran minerales tales como baritina, esfalerita de tonalidades claras y rojizas, galena, tetraedrita, entre otros. Estos tipos de precipitados se hallan presentes en las bolsadas Lourdes, así como en la parte oriental de las vetas, como la Veta Principal, Marthita, Nor Este, Andalucía, entre otras.

a) Estructuras en Vetas de Chungar

Las vetas son fracturas preexistentes que han sido llenadas con minerales que contienen zinc, plomo, plata y cobre.

En el yacimiento de Chungar se han identificado más de 20 filones, de los cuales aproximadamente 8 han sido objeto de planificación y desarrollo debido a su relevancia. La extensión de las galerías horizontales en estas estructuras varía significativamente: algunas, como la Veta Nor Este, se extienden por varios cientos de metros, mientras que otras de mayor importancia, como las vetas Principal y Precaución, alcanzan longitudes de entre 300 y 1,800 metros. Generalmente, estos depósitos han sido explorados desde la superficie hasta profundidades cercanas a los 500 metros en Chungar (Nivel 150). El espesor de las vetas oscila entre 0.80 y 20 metros. Por ejemplo, en el nivel 200, la Veta Principal puede alcanzar hasta 8 metros de ancho, la Veta 085 hasta 15 metros y la Veta Lorena hasta 12 metros. Las vetas con orientación Este-Oeste presentan inclinaciones que varían entre 75° y 90°. Al atravesar diques monzoníticos, tienden a bifurcarse, y al penetrar en conglomerados, reemplazan los clastos calcáreos. Vetos como María Rosa, 085 y Lorena han sido afectadas por fallas post-minerales, tanto transversales como concordantes, acompañadas de una intensa alteración hidrotermal que se manifiesta en procesos de caolinización y silicificación en sus encajonamientos.

b) Formación Casapalca

Esta unidad se encuentra ampliamente expuesta sobre el geoanticlinal del Marañón, con espesores que alcanzan varios cientos de metros (Mc LAUGHLIN, D.H., 1924).

Está compuesta por lutitas, limolitas y areniscas de tonos rojo ladrillo. En la parte inferior, contiene capas de conglomerados con fragmentos de caliza, arenisca roja, intrusivos y esquistos subangulares. Hacia la parte superior, predominan las capas de caliza blanquecina con intercalaciones de areniscas conglomerádicas de tonalidad rojiza.

Por lo general, la serie de las "Capas Rojas" está compuesta exclusivamente por sedimentos. Sin embargo, en las cercanías de la laguna de Chungar (al oeste de Huayllas) y en los alrededores de Ticlio, esta serie se encuentra asociada con una andesita porfirítica, la cual se manifiesta en forma de sillares o derrames, según lo reportado por Harrison (1956).

Figura 48

Formación Casapalca



Fuente: Plan de minado 2022– Mina Animon

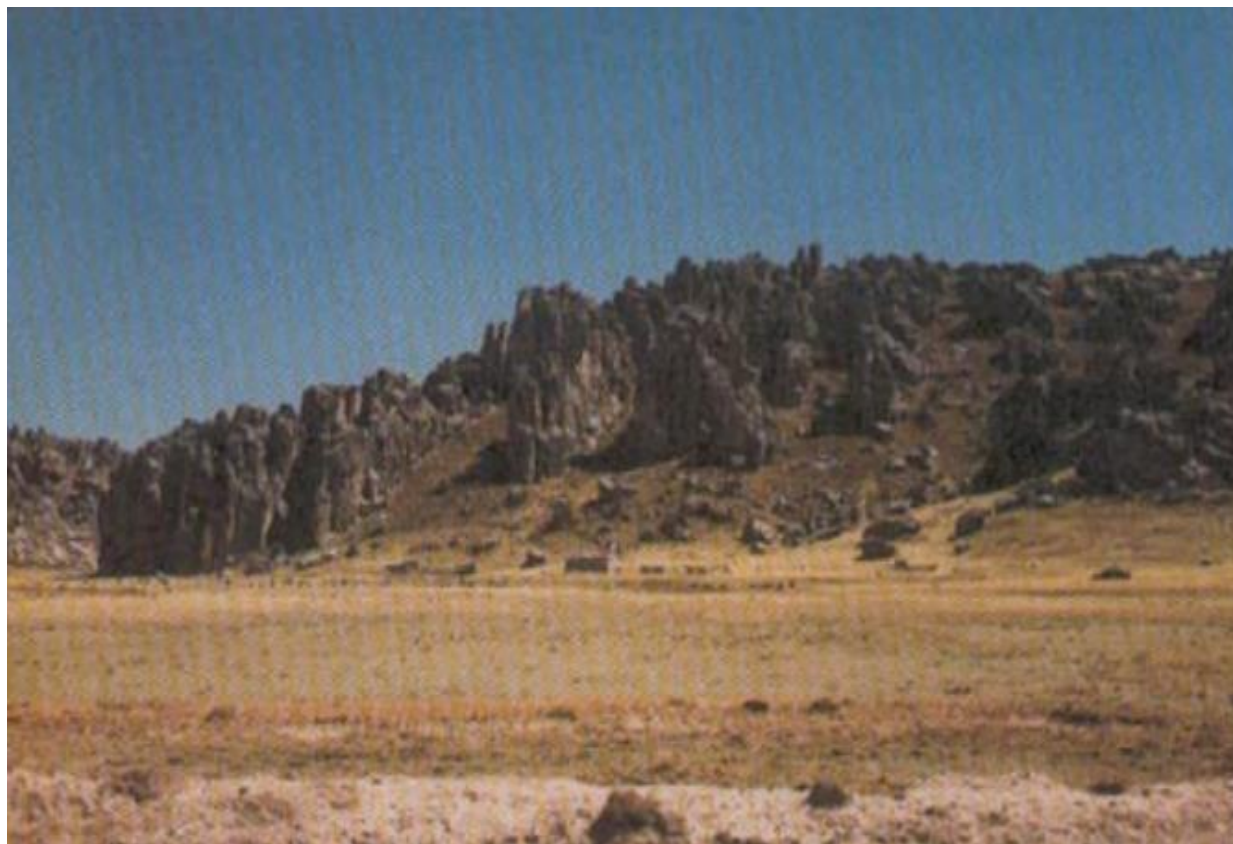
c) Formación Huayllay

Tras la última fase tectónica andina, ocurrió un suceso volcánico que generó ignimbritas las cuales llenaron las superficies erosionadas en forma de flujos de lava andesítica intercalados con depósitos piroclásticos. Este fenómeno se observa claramente que alrededor de Huayllay, existe una extensión notable hacia el cuadrángulo de Ondores (cerca de Santa Bárbara de Carhuacayán) y Cerro de Pasco (Hacienda Conoc), creando una meseta alargado en dirección andino.

Morfológicamente, la región exhibe un relieve ondulado a agreste, destacándose por una disyunción columnar altamente desarrollada. Este fenómeno ha sido sometido a un intenso proceso de intemperismo, lo que ha dado lugar a un paisaje impresionante, que evoca la imagen de árboles nudosos y retorcidos, conocido como el "Bosque de Piedras". En este singular paraje, se pueden apreciar más de 500 figuras caprichosas, mayoritariamente de animales, que han sido esculpidas por la acción del intemperismo a lo largo del tiempo.

Figura 49

Formación Huayllay



Fuente: Plan de minado 2022– Mina Animon

Desde lo litológico, se basa de un tufo porfirítico blanco quebradizo que contiene vidrio, plagioclasa, cuarzo redondeado y biotita con brillo. También incluye clastos de pómez que conservan su forma no aplanada. Todos los cristales están bien preservados y muestran un brillo primitivo. Estos materiales se encuentran en posición subhorizontal, rellenando antiguas características del relieve.

La morfología de los fenos es irregular, frecuentemente fracturada y corroída por la pasta, exhibiendo fibras arqueadas, irregulares y fibrosas de naturaleza vítrea. Esta característica sugiere que su formación ocurrió a bajas temperaturas y con un proceso de origen explosivo. Los fenos reposan sobre un área de erosión, conocida como discordancia erosional, perteneciente a la Formación Casapalca. Se estima que su espesor varía entre 100 y 120 metros.

1.8 Geomorfología

Esta región se distingue por la acumulación de eventos tectónicos que abarcan desde el Neoproterozoico hasta el Cuaternario recientemente, resultado de tres periodos orogénicos. La configuración geomorfológica del área de estudio ha sido moldeada por una serie de eventos cronológicamente sucesivos desde el Cenozoico hasta el Cuaternario, influenciada por un levantamiento regional durante el Terciario temprano. Este proceso incluyó una erosión diferencial pronunciada debido a la actividad glacial desde el Pleistoceno.

La U.M. Animon se encuentra en el fondo de un glaciar orientado en dirección noreste-suroeste. El área de estudio ha experimentado actividad glacial, siendo este el principal agente modelador del relieve, lo que ha originado suaves ondulaciones y valles amplios de carácter glacial, entre colinas redondeadas de pendientes moderadas. Además, otras manifestaciones de la geodinámica externa incluyen la presencia de lagunas, formadas por procesos de desglaciación, que han dejado como huella importantes depósitos de morrenas y materiales fluvioglaciares en las zonas bajas de los valles. En términos de unidades de relieve, se identifican cuatro tipos: Ladera de relieve montañoso-erosivo, ladera de relieve colinado estructural-erosivo, colina de relieve colinado estructural-erosivo y llanura de inundación en altiplanicie.

1.9. Geología económica

En la zona aflora una serie de conglomerados cuarcíferos, calizas con estratos de margas pertenecientes a la Formación Casapalca (Paleógeno), que han sido ingresadas por rocas granodioríticas y piroclásticas gruesas, como tufos y derrames andesíticos del "Calipuy"

(Neógeno). El yacimiento, de origen hidrotermal, está compuesto por filones tabulares con rumbo dominante este-oeste y un buzamiento de 70° a 75° hacia el norte. Este sistema atraviesa la laguna Naticocha inferior al nivel freático, con una anchura de entre 1.80 y 2 metros, extendiéndose a lo largo de 950 metros.

Las alteraciones predominantes en el área son la cloritización y seritización. Los minerales de mena encontrados son esfalerita, galena y calcopirita, mientras que los minerales de ganga comprenden cuarzo, pirita, rodocrosita, siderita y fluorita.

1.10. Geomecánica

Animon está compuesto principalmente por sedimentitas que evidencian un tiempo de inmersión seguido de una notable denudación. Las capas rojas del Grupo Casapalca, responsables de su estratigrafía, presentan dos fases de sedimentación: la fase más antigua, de mayor espesor, alcanza entre 1,400 m y 1,500 m, mientras que la fase más joven tiene un grosor de 800 m a 900 m. En la base de cada fase, se observan conglomerados y areniscas, mientras que en la parte superior predominan capas de chert, yeso y recursos piroclásticos. La distribución y orientación de los clastos indican que estos recursos provienen del Este, quizás de la zona habitada por la Cordillera Andes.

En el distrito minero se contrastan dos formaciones claramente definidas: la formación inferior, que consiste principalmente en margas y areniscas y que se localiza en la parte central y más profunda del anticlinal de Huarón, con un espesor superior a los 800 m, y la formación superior, con un grosor de 800 m, que es la única masa rocosa presente en ambos flancos del anticlinal. En el flanco Este, la silicificación es escasa, comenzando con conglomerados gruesos que favorecen la mineralización, lo que la convierte en otro metalotecto importante de la región, conocido como el “Conglomerado de San Pedro”. Posteriormente, se alternan areniscas con detritos volcánicos, conglomerados intermedios, arcosas, areniscas conglomerádicas, areniscas y niveles calcáreos chérticos de aproximadamente 30 m de espesor, además de areniscas margosas.

a) Aspectos geomecánicos

Los aspectos geomecánicos del macizo rocoso de Animon exhiben una variabilidad significativa, clasificándose entre Regular B (IIIB) y Mala B (IVB). Esta condición exige la implementación de sostenimientos adecuados en todas las labores mineras para contrarrestar los esfuerzos inducidos por las actividades de preparación y explotación. La litología dominante es la marga gris, cuya F’c

varía desde 10 MPa en zonas altamente alteradas y próximas a las estructuras de las vetas, hasta 75 MPa en áreas más silicificadas. Por otro lado, la marga roja presenta una F'_c de 80 MPa.

La masa rocosa de la mina Animon presenta grados de fracturamiento que van desde Fracturada (F) hasta Muy Fracturada (MF) e Intensamente Fracturada (IF), y sus fracturas están rellenas de material arcilloso argilizado en capas finas, muchas de las cuales tienen espesores inferiores a 1 mm, mostrando superficies discontinuas lisas. Adicionalmente, las estructuras mineralizadas están intercaladas por fallas o discontinuidades que definen falsas cajas de potencias variables, con espesores que van desde 0.5 m hasta 1.5 m, e incluso 2.0 m en algunos casos.

Ante tales sistemas geomecánicos, el sostenimiento de las labores subterráneas se lleva a cabo mediante una combinación de elementos de sostenimiento, tales como el uso de shotcrete, mallas electrosoldadas, pernos de roca tipo Swellex, pernos helicoidales y técnicas de cablebolting, las cuales permiten garantizar la estabilidad y seguridad de las excavaciones en un entorno geológico de alta complejidad.

b) Aplicaciones de la geomecánica

La geomecánica es fundamental para planificar, construir y supervisar las excavaciones mineras en todas las fases del proceso minero, asegurando un adecuado sostenimiento. Esta disciplina utiliza criterios como la clasificación de Bieniawski (RMR) y el Índice de Resistencia Geológica (GSI), los cuales evalúan el grado de fracturación y la calidad de las discontinuidades para estos fines; el resultado nos indica una roca regular. Es crucial realizar una caracterización exhaustiva del macizo rocoso para tomar decisiones acertadas sobre el sostenimiento y así obtener resultados positivos, reduciendo al mínimo los accidentes.

c) Criterios de evaluación geomecánica

Con la finalidad de generar la base para evaluaciones geomecánicas de estabilidad, se utilizan los siguientes criterios:

- Caracterización del macizo rocoso.
- Clasificar geomecánicamente del macizo rocoso.
- Dividir el yacimiento y su área circundante según criterios geomecánicos.

- Determinar las propiedades de comportamiento del terreno.
- Establecer otros factores de influencia (agua, esfuerzos in-situ y otros).

d) Clasificaciones geomecánicas

Para determinar las unidades geotécnicas en la Unidad Minera Animon se considera la litología y las características geotécnicas de la roca, teniendo en cuenta la calidad del macizo rocoso tanto en la veta como en la caja techo y caja piso, estimada a través de la evaluación con el uso de los sistemas de clasificación RMR, Índice Q y GSI, y considerando los datos en los tramos de logueo (caracterización, ensayos de mecánica de rocas), los cuales sirven de base para los análisis posteriores en el modelamiento geomecánico, estimación de las aberturas máximas, y en la determinación de los métodos de explotación.:

1. Clasificación de Deere
2. Clasificación Bieniawski (CSIR).
3. Clasificación de Barton (NGI).
4. Clasificación de Hoek y Brown.
5. Clasificación GSI.

e) Sistema de clasificación RMR

La clasificación geomecánica de la masa rocosa se efectúa mediante el criterio de Bieniawski de 1989 (RMR – Rock Mass Rating o Evaluación de la Masa Rocosa).

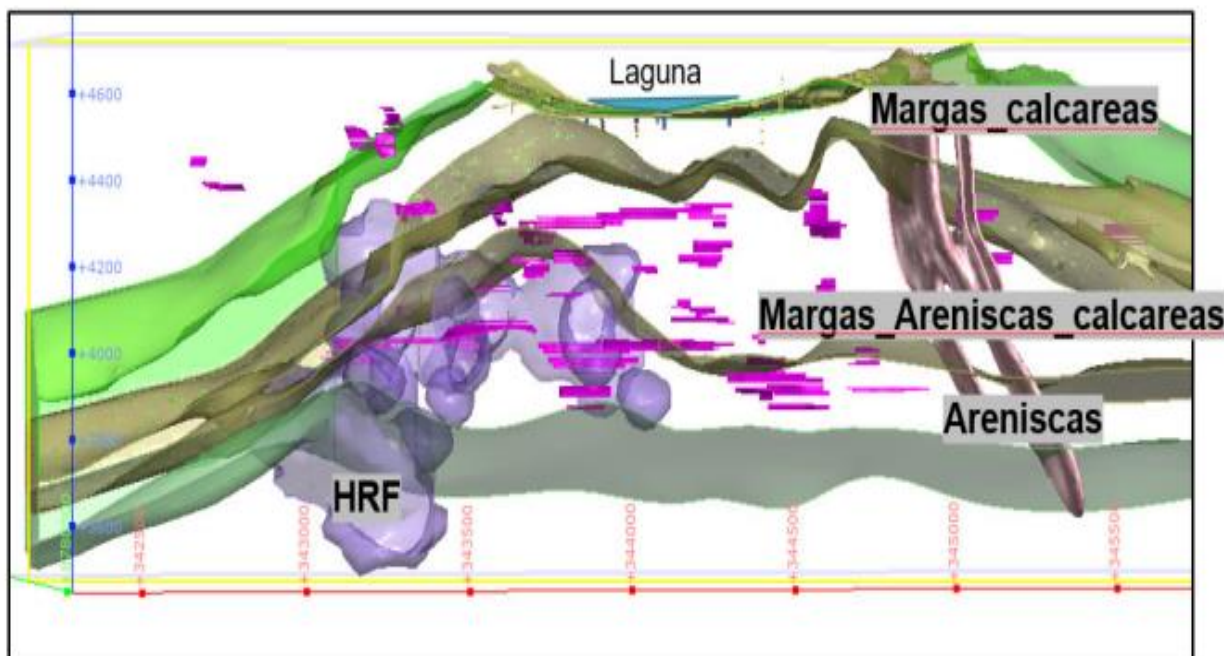
Se ha adaptado el criterio de Bieniawski (1989) para esta evaluación específica, mostrándose en el cuadro siguiente para clasificar la masa rocosa, se presenta en el siguiente cuadro:

Figura 50*Clasificación según RMR*

Tipo de roca	Rango RMR	Calidad según RMR	Color
II	> 60	Buena	Dark Blue
IIIA	51 – 60	Regular A	Green
IIIB	41 – 50	Regular B	Yellow
IVA	31 – 40	Mala A	Orange
IVB	21 – 30	Mala B	Red
V	< 21	Muy Mala	Brown

Fuente: Plan de minado 2022– Mina Animon

Las fuentes de información para la clasificación de la masa rocosa en el área de estudio provienen del mapeo geomecánico de labores subterráneas y el registro geotécnico de testigos de sondajes diamantinos, efectuados como parte de los trabajos de campo del estudio.

Figura 51*Sección longitudinal mirando de Sur a Norte*

Fuente: Plan de minado 2022 – Mina Animon

1.11 Método de explotación

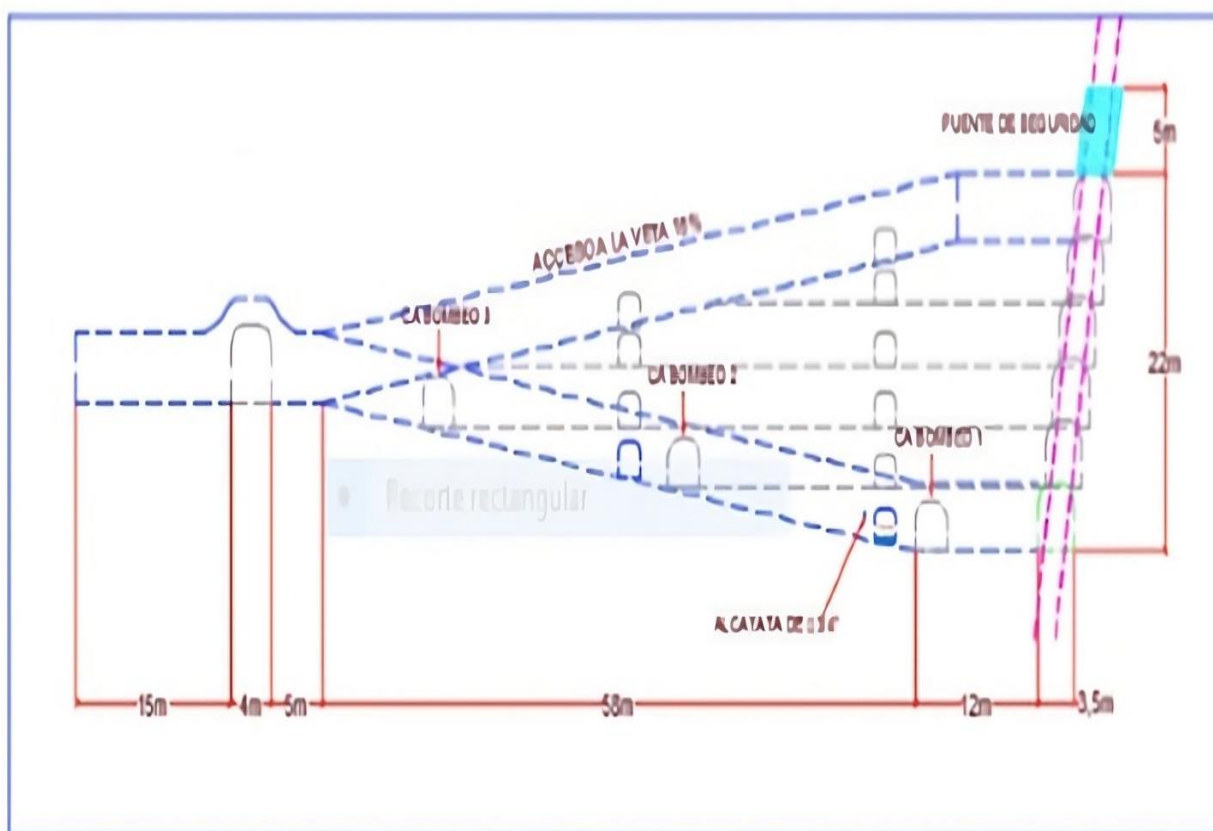
a). Método Corte y Relleno Ascendente (C&F) con Breasting

El método de corte y relleno ofrece una amplia variedad de aplicaciones debido al minado selectivo, su alta recuperación y la viabilidad operativa bajo diferentes condiciones geomecánicas, además de ser compatible con la mecanización de las operaciones mineras. Las técnicas de relleno actuales tienen la capacidad de optimizar tanto los aspectos técnicos como económicos de este método, que ha reemplazado con frecuencia a otros sistemas de extracción.

El método de corte y relleno ofrece una amplia variedad de aplicaciones debido al minado selectivo, su alta recuperación y la viabilidad operativa bajo diferentes condiciones geomecánicas, además de ser compatible con la mecanización de las operaciones mineras. Las técnicas de relleno actuales tienen la capacidad de optimizar tanto los aspectos técnicos como económicos de este método, que ha reemplazado con frecuencia a otros sistemas de extracción.

Figura 52

Minado corte y relleno ascendente con breasting de Mina Animon



Fuente: Plan de minado 2022 – Mina Animon

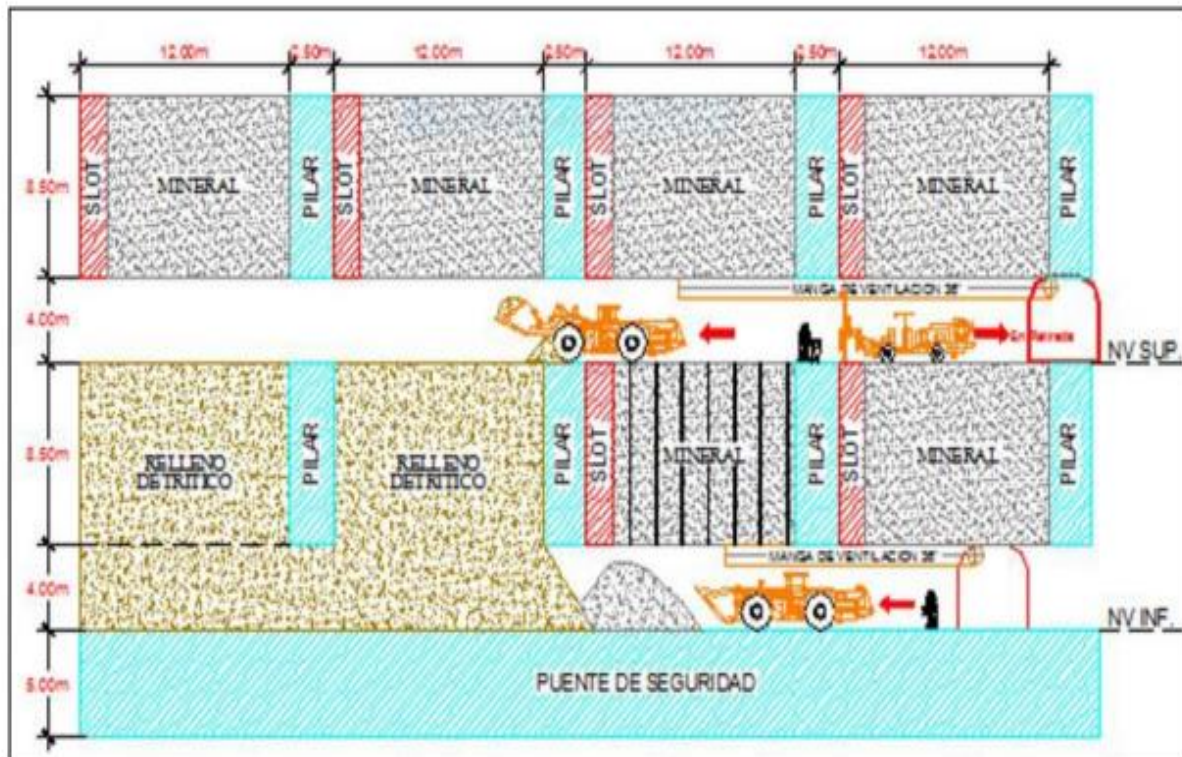
b) Minado Sub Level Stopping con relleno

En la mina Animon, este método de explotación se desarrolla longitudinalmente a lo largo de la veta. Se establecen subniveles (superior e inferior) con un banco de mineral entre ellos, el cual se extrae de manera progresiva mediante el uso de taladros largos. El proceso de relleno se lleva a cabo una vez que se ha completado la limpieza del mineral.

Los análisis realizados respaldan y validan el diseño geomecánico empleado para la explotación de las vetas de Animon, donde se utilizan subniveles con taladros largos y relleno. Sin embargo, también revelan que las dimensiones de los tajos se encuentran en el límite superior permitido por las condiciones naturales del yacimiento, especialmente en las masas rocosas de los dominios DE-IVA y IVB. Por esta razón, no se recomienda evaluar un aumento en las dimensiones de los tajos.

Figura 53

Método de explotación



Fuente: Plan de minado 2022 – Mina Animon

c) Labores de Desarrollo y Preparación

- Labores de Desarrollo

La mina se desarrolla mediante una rampa descendente con dimensiones de 4.0 m x 4.5 m, ubicada de manera paralela a la veta y a una distancia promedio de 40 m. Esta rampa tiene una pendiente del -13% y permite acceder a los niveles inferiores según sea necesario. Desde la rampa, se construyen cruceros de 3.8 m x 4.0 m con una pendiente del 1% y una longitud promedio de 40 m, los cuales interceptan la veta al alcanzar las cotas de los niveles principales o intermedios. En el nivel base, se habilitan *By Pass* de 4.0 m x 4.0 m, también con una pendiente del 1%, que se disponen paralelos al rumbo de la veta con una separación promedio de 20 m.

Todas las labores verticales destinadas a la ventilación se ejecutan con equipos mecanizados Raise Borer: desde el sector para las troncalidades principales y desde el interior de la mina para los circuitos secundarios. Como alternativa, se emplean chimeneas VCR perforadas mediante equipos de taladros largos.

- Labores de Preparación

Desde los cruceros en cada nivel, se desarrollan los subniveles siguiendo la veta y cubriendo toda la anchura de la estructura con una pendiente del 1%. Los *By Pass* se construyen con dimensiones de 4.0 m x 4.0 m y una pendiente también del 1%, formando bloques de explotación independientes que facilitan las actividades cíclicas de perforación, limpieza y relleno detrítico. Estas operaciones cumplen con las especificaciones de diseño para el avance del banqueo de los tajos o la definición de pilares geomecánicos, según la variante del método que se aplique en las labores de acceso se realizan desquinces para puntos de carguío diseñados para la combinación de volquetes y SCOOP, incorporando una cámara de acumulación con dimensiones de 15 m de longitud y 4.0 m x 4.0 m de sección. Además, se habilitan refugios para el personal con dimensiones de 1.5 m x 2.0 m y 1.5 m de longitud, así como refugios para tableros eléctricos de 2.0 m x 2.0 m y 2 m de longitud entre los accesos.

- Corte y Relleno Ascendente con perforación horizontal (Breasting)

El método de Corte y Relleno Ascendente (C&RA) se distingue por realizar cortes horizontales a lo largo de toda la longitud del tajo, con alturas de 4 metros, dentro de un entorno de trabajo completamente mecanizado. Un aspecto clave de este método es la perforación horizontal (breasting), cuya aplicación depende de la calidad de la roca en las cajas y las vetas. Antes de la

etapa de disparo, se realiza un relleno hidráulico y detrítico que reduce la altura, dejando un espacio de 0.5 m que actúa como cara libre para los disparos de los cortes horizontales siguientes. Aunque eficaz, este método resulta lento debido al tiempo que demanda completar el ciclo operativo

1.12. Operaciones unitarias de trabajo

1. Perforación

La perforación consiste en abrir orificios en una capa de material, utilizando métodos mecánicos o manuales, con el objetivo de crear taladros que posteriormente se cargarán con explosivos para su detonación.

En la Unidad Operativa Animon, esta actividad se lleva a cabo con jumbos electrohidráulicos de un brazo, operando en frentes logrando un avance promedio de 3.5 metros por disparo.

Las especificaciones del estándar de perforación establecidas por IESA en esta operación son las siguientes:

Consideraciones Generales:

- a) Para operar el equipo de perforación (Jumbo), es necesario contar con la hoja de revisión técnica actualizada, la lista de verificación (check list) y la orden de trabajo correspondiente.
- b) Los operadores de maquinaria pesada deben poseer una licencia de conducir emitida por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, con una categoría mínima de A1, además de los niveles de autorización requeridos para conducción y operación interna.

Perforación Horizontal con Jumbo Electrohidráulico

- a) Durante las operaciones de perforación, es esencial establecer un perímetro de seguridad para proteger al personal y garantizar el desarrollo seguro de las actividades. Este perímetro debe situarse a 5 metros detrás del equipo de perforación e incluir dos conos de seguridad de 70 cm de altura, unidos por una cuerda delimitadora que exceda en 50 cm el ancho de la labor en perforación. Además, se debe colocar un letrero con la inscripción "Equipo en perforación" para alertar sobre la actividad en curso.

- b) El suministro eléctrico será desde una caja breaker de 440V colocada por el personal del área de mantenimiento eléctrico.
- c) La presión de agua será de 7-10 bares, proporcionada por el área de mina servicios.
- d) Los cables eléctricos del equipo se mantendrán a 1 m de altura en el hastial aseguradas, a cáncamos (en forma de S y L) para evitar el contacto con el agua o el piso.
- e) Contar con la labor re-desatada, con el sostenimiento adecuado y ventilada, con la dirección, gradiente y malla de perforación marcada, antes de iniciar la operación.
- f) Contar con reflector adaptado al equipo de perforación, (02 delanteros, 02 posteriores y 01 reflector con un trípode para movilizarlo a discreción para iluminar el área a perforar.
- g) Para prevenir movimientos bruscos del equipo que puedan ocasionar accidentes, es fundamental que el equipo de perforación mantenga todas las válvulas cerradas. Asimismo, al energizar el Jumbo, se deben colocar los controles en posición neutra para evitar desplazamientos inesperados del equipo.
- h) Es imperativo acatar el diseño de las mallas de perforación predefinidas, asignadas a cada labor en consonancia con la tenacidad de la roca y las dimensiones específicas de las labores, con el fin de optimizar la fragmentación y la eficacia operativa.
- i) La perforación se deberá iniciar por orden, comenzando por los arrastres (entubando los taladros), hastiales, corona, arranque y ayudas, conservando siempre el paralelismo entre los taladros.
- j) Se deberá usar guiadores aprobados de diámetros establecidos y largo. La cantidad de guiadores para la perforación será de 03 como mínimo por labor.
- k) Para los taladros de alivio del arranque es obligatorio el uso de broca rimadora.
- l) Para el emboquillado, como mínimo se debe perforar 1 pie en percusión baja, luego aplicar la percusión alta.
- m) Durante las operaciones de perforación, es imperativo que el ayudante se mantenga a una distancia prudente de la pluma en funcionamiento, evitando cualquier proximidad que pudiera comprometer su seguridad. Además, se debe suspender la actividad del jumbo al ingresar al área para la limpieza de taladros o la instalación

de tubos, garantizando así la integridad de los trabajadores y el correcto desarrollo de las tareas.

- n) El equipo deberá contar con un kit anti derrames, para la deposición de aceite y grasa en caso de derrames.
- o) Para la perforación de taladros de servicio, se deberá contar con los puntos marcados en los hastiales de acuerdo a la distancia establecida.

Tabla 19

Equipos de perforación IESA

Código SAP	Flota	Marca	Modelo	Unidad de Operación	Área Sponsor
IES-JUM-0038	Jumbo Frontonero	Sandvik	DD311	Animon	Op Mina IESA
IES-JUM-0039	Jumbo Frontonero	Sandvik	DD311	Animon	Op Mina IESA
IES-JUM-0047	Jumbo Frontonero	Sandvik	DD311	Animon	Op Mina IESA
IES-JUM-0054	Jumbo Frontonero	Atlas Copco	BOOMER S1D	Animon	Op Mina IESA

Fuente: Mantenimiento IESA

2. Voladura

La voladura es la acción de fracturar o fragmentar la roca por el empleo de explosivos, cuyas propiedades físico químico permiten reducir la roca en trozos más pequeños.

Las especificaciones del estándar de voladura en IESA, son las siguientes:

- a) Es imperativo certificar la capacitación, habilitación y autorización de todo operario involucrado en labores de voladura. Cada supervisor de área está obligado a orquestar las gestiones pertinentes para que aquellos que manipulan o están en contacto con explosivos reciban formación especializada y validen su competencia.
- b) Todo individuo que participe en actividades de voladura debe poseer una autorización vigente expedida por la SUCAMEC, la cual debe portar en todo momento.

c) La señalización relativa a materiales explosivos debe adherirse estrictamente al D.S. 024-2016-E.M., empleando códigos cromáticos que permitan una identificación expedita del peligro inherente a la voladura. Se deben implementar las siguientes acciones al señalar:

- ❖ Ubicar carteles en lugares conspicuos con códigos y colores que indiquen la presencia de material explosivo.
- ❖ Los avisos deben ser inequívocos y detallar exhaustivamente el código de señal y colores.
- ❖ En áreas de almacenamiento, los letreros deben incluir la leyenda "peligros explosivos", especificando si se trata de un polvorín principal, auxiliar o de accesorios y agentes de voladura.

d) Dentro del polvorín, es esencial señalar los compartimentos de los distintos agentes o accesorios, colocando avisos que indiquen:

- ❖ Prohibido abrir las cajas de explosivos interiormente
- ❖ Prohibido fumar.
- ❖ Prohibido encender fuego.
- ❖ Prohibido utilizar lámparas de llama o linternas sin aislamiento de seguridad.
- ❖ Prohibido emplear recursos metálicos que generen chispas.
- ❖ Prohibido el tránsito de personal no autorizado.

e) En el traslado de explosivos, los vehículos adecuados deben exhibir los siguientes avisos:

- ❖ Para voladura subterránea: dos carteles de "peligro de explosivos" en la parte frontal y posterior, y dos estandartes rojos en los laterales delanteros.
- ❖ Para voladura superficial: tres carteles de explosivos o accesorios en la parte delantera y laterales, y dos estandartes rojos en los laterales delanteros.

f) En las operaciones de explosivos en minería, se deben observar las siguientes consideraciones de seguridad:

- ❖ Las órdenes de retirada y reposición de explosivos deberán ser suscritas por el Supervisor de Voladura designado, quien asume la responsabilidad plena.
- ❖ Ningún artefacto explosivo, accesorio o agente detonante podrá ser depositado fuera de los polvorines establecidos.
- ❖ Únicamente el personal debidamente autorizado por la SUCAMEC tiene la prerrogativa de transportar explosivos entre los polvorines y las zonas de voladura.

- ❖ Durante el transporte subterráneo, los vehículos deben cumplir con las condiciones de seguridad pertinentes, circulando a una rapidez máxima de diez (10) km/h y respetando el derecho de vía.
- ❖ Los explosivos deben situarse en la tolva del vehículo, revestida internamente con madera tratada con material ignífugo.
- ❖ Está prohibido transportar simultáneamente detonadores y otros accesorios de voladura con explosivos en el mismo vehículo.
- ❖ En caso de tormenta eléctrica, el personal debe abstenerse de acercarse a los polvorines.

g) Se deben acatar las siguientes prohibiciones:

- ❖ No utilizar explosivos sin la debida autorización y capacitación.
- ❖ Abstenerse de utilizar objetos metálicos ferrosos para la apertura de cajas de explosivos.
- ❖ Mantener las cajas de explosivos debidamente selladas con sus tapas intactas.
- ❖ Evitar portar explosivos en bolsillos o en compartimentos no autorizados.
- ❖ No emplear explosivos que presenten daños o signos de deterioro.
- ❖ No desensamblar detonadores ni someterlos a presiones excesivas, ni ejercer fuerza sobre sus cables.
- ❖ Evitar el uso de mechas de seguridad, cordón detonante, cordón repartidor de encendido o cualquier otro explosivo que haya estado en contacto con humedad, aunque aparenten estar secos.
- ❖ Evitar el uso de mechas de seguridad, cordón detonante, cordón repartidor de encendido o cualquier otro explosivo que haya estado en contacto con humedad, aunque aparenten estar secos. No manipular explosivos en condiciones de mal tiempo o riesgo eléctrico.

2.1 Explosivos

Los explosivos son sustancias cuya reacción, al ser inducida por un estímulo externo (roce, calor, percusión, entre otros), origina una transformación que genera gases, emitiendo de manera súbita calor, presión o radiación, en un proceso de elevada rapidez y liberación energética.

Los explosivos utilizados en las operaciones de IESA SA, son:

a) Senatel Ultrex

La emulsión Senatel™ Ultrex™ es un explosivo potente, resistente al agua, con alta sensibilidad al detonador. Su consistencia masillosa y color gris lo hacen adecuado para cargas de columna

en rocas duras o de fondo en rocas blandas, siendo ideal como iniciador para columnas de ANFO gracias a su rapidez de detonación.

b) Senatel Magnafrac

Senatel™ Magnafrac™ es una emulsión explosiva encartuchada, robusta y sensible al detonador. El explosivo es blanco y pastoso. es un explosivo encartuchado resistente al agua, diseñado para trabajar como carga de columna en rocas de dureza alta o como carga de fondo en rocas de dureza baja. La alta rapidez de detonación junto con la naturaleza robusta del Senatel™ Magnafrac™ lo hacen ideal como iniciador de columnas de ANFO. El film de plástico del Senatel™ Magnafrac™ se puede romper para conseguir la compactación de los cartuchos con el fin de maximizar su acoplamiento y la energía dentro del barreno.

c) Cordón Detonante

El cordón detonante PENTACORD® es un accesorio de voladura con alta rapidez de detonación, fácil manejo y seguro. Con núcleo de pentrita (PETN) y recubrimiento plástico, algunos modelos reforzados incorporan hilos y resinas para mayor resistencia a la abrasión y tracción.

d) Detonador No-Eléctrico Exsanel LP

El sistema de iniciación no eléctrico EXSANEL® LP consta de un detonador de retardo, un tubo de choque tricapa amarillo y un conector plástico para asegurar el contacto con el cordón detonante. El detonador, con cápsula de aluminio y carga explosiva equivalente a Fuerza N°12, utiliza una mezcla pirotécnica de retardo (sin plomo) para ofrecer tiempos prolongados.

e) Mecha Rápida

La mecha rápida es un componente del sistema de iniciación de voladuras, formado por una masa pirotécnica, dos alambres y una cubierta plástica. Durante su combustión, genera una llama incandescente capaz de activar la masa pirotécnica del conector, garantizando un encendido eficaz de la mecha de seguridad.

3. Limpieza y acarreo

La limpieza del mineral o desmonte tras la voladura se realiza con los equipos Scoop de 4.8 m³ (6 yd³) de capacidad, se debe iniciar desde 30 m antes del frente, llevando piso uniforme, parejo y limpiando los lados completamente, este paso se debe realizar las veces que sea necesario durante la actividad de limpieza.

Al llenar el lampón del equipo con carga no debe estar muy colmatada para no regar bancos en el trayecto, el acarreo de material se hace con el motor hacia adelante para facilitar la visibilidad del operador y culminada la limpieza tener en cuenta cuando se cruzan con un equipo hacer uso de los refugios de pase vehicular cercano.

Para descargar el mineral y/o desmonte en la cámara de acumulación el operador debe asegurar que la cámara este iluminado para facilitar la visibilidad, el scoop ingresa con la cuchara hacia adelante para descargar. El retroceso del scoop se hará previo 3 toques prolongados de claxon y cuando vuelva a desplazarse con el lampón hacia adelante será luego de 2 toques prolongados de claxon.

Tabla 20

Flota de scooptram

Código SAP	Flota	Marca	Modelo	Unidad de Operación	Área Sponsor
IES-SCO-0073	SCOOPTRAM	CAT	R1600G	Animon	Op Mina IESA
IES-SCO-0074	SCOOPTRAM	CAT	R1600G	Animon	Op Mina IESA
IES-SCO-0079	SCOOPTRAM	CAT	R1600G	Animon	Op Mina IESA
IES-SCO-0088	SCOOPTRAM	CAT	R1600H	Animon	Op Mina IESA
IES-SCO-0089	SCOOPTRAM	CAT	R1600H	Animon	Op Mina IESA

Fuente: Mantenimiento IESA

4. Carguío de mineral y/o desmonte

Se realiza el carguío del mineral y/o desmonte del scoop al volquete en puntos de carguío establecidos en coordinación con la supervisión de extracción, el carguío del material con el scoop, debe realizarse en forma uniforme a la tolva del volquete y al término se debe comunicar al conductor del volquete y verificar la distribución en la tolva.

5. Transporte de mineral y/o desmonte

El transporte de mineral y/o desmonte de interior mina se realiza con volquetes de capacidad, donde el operador del volquete según procedimiento al momento del traslado del mineral o desmonte, deberá hacerlo con la circulina, luces delanteras y posteriores encendidas, respetando los límites de rapidez de acuerdo al RITRA a 20 Km/h. reduciendo su rapidez a 10 Km/h en las curvas durante la operación del equipo.

En zonas de trabajo dar preferencia a vehículos livianos respetando los 30 m de distancia entre equipos en superficie y 50 m de distancia en interior mina y verificando los puntos de descarga de mineral y/o desmonte.

Tabla 21

Flota de volquete - IESA

Código SAP	Código Interno	Flota	Marca	Modelo	Unidad de Operación	Área Sponsor
IES-VOL-BBJ761	ICV-100	VOLQUETE	VOLVO	FMX500-6X4R	Animon	Op Mina IESA
IES-VOL-BBK771	ICV-104	VOLQUETE	VOLVO	FMX500-6X4R	Animon	Op Mina IESA
IES-VOL-BBI871	ICV-106	VOLQUETE	VOLVO	FMX500-6X4R	Animon	Op Mina IESA
IES-VOL-BBJ791	ICV-107	VOLQUETE	VOLVO	FMX500-6X4R	Animon	Op Mina IESA
IES-VOL-BBI869	ICV-110	VOLQUETE	VOLVO	FMX500-6X4R	Animon	Op Mina IESA

Fuente: Mantenimiento IESA

6. Desate

Para la actividad del desatado de rocas sueltas en cada labor, debe contarse como mínimo con dos (02) juegos de cuatro (04) barretillas (de diferentes medidas, las medidas de las barretillas estarán en función a las dimensiones de las labores). El siguiente es un cuadro resumen con medidas recomendadas:

Tabla 22*Recomendaciones de desate*

Ítem	Altura labor a desatar (m)	Dimensión de la barretilla (m)
1	2,4	1,98 (6 pies)
2	3,0	2,44 (8 pies)
3	3.20	3.05 (10 pies)
4	Hasta 3,5	3,54 (12 pies)

Fuente: Estándar de desate IESA

Cuando el techo de la labor excede los 4 metros o los factores del terreno son inestables con alto riesgo de desprendimiento, es obligatorio usar desatadores mecánicos. Además, en galerías y rampas se debe contar con al menos un juego de cuatro barretillas cada 100 metros.

Tabla 23*Flota de desatador de roca*

Código SAP	Código Interno	Flota	Marca	Modelo	Unidad de Operación	Área Sponsor
IES-SCA-0014	DSK-014	DESATADOR DE ROCAS	PAUS	PAUS 853-S8	Animon	Op Mina IESA

Fuente: Mantenimiento IESA

7. Sostenimiento

El área de geomecánica determina el tipo de sostenimiento a aplicar según las recomendaciones y evaluaciones, teniendo en cuenta los cambios continuos en las características geológicas del terreno.

Los tipos de sostenimiento a utilizar en las operaciones de IESA en la mina Animon, son:

a) Pernos Omega-Swellex

Son pernos de expansivos y consisten en un tubo compresible, rasurado longitudinalmente que puede o no confinar el agua. Este tipo de pernos posee un espesor externo reducido para hacer más fácil su inserción al interior de la perforación y un tipo de acero según especificación Técnica, el cual será sometido a cierta presión de agua y aire, permitiendo que se expanda transversalmente, ampliando su diámetro. Este elemento ejerce fuerzas de presión que empujan las paredes del taladro donde yace, confinándolo y que, a su vez, esta presión empuja las fracturas adyacentes y aumenta el nivel de fricción de los planos, disminuyendo el grado de deslizamiento de las juntas.

b) Malla Electrosoldada

- ✓ Se utilizará Malla Electrosoldada N°10, 4"x4" en rollo de 2.40x25m. según las recomendaciones del área de Geomecánica.
- ✓ El traslape entre un paño y otro de malla electrosoldada, debe ser de 30cm (03 cocos de la malla) y 40cm (04 cocos de la malla) solo para roca tipo V.
- ✓ La Malla Electrosoldada deberá ir bien pegada hacia la superficie del macizo rocoso.

c) Lanzado de Shotcrete Vía Húmeda

- ✓ Las labores que no cuenten con las condiciones de seguridad para el lanzado del shotcrete deberán paralizarse hasta que se tomen las medidas de control necesarias para continuar con la actividad de sostenimiento con shotcrete (los operadores deben realizar su IPERC previo al desarrollo de la actividad).
- ✓ El lanzado de shotcrete con vía húmeda debe realizarse siguiendo los pasos indicados en los PETS Sostenimiento con shotcrete vía húmeda realizado con robot lanzador
- ✓ Las plantas de shotcrete deben seguir las dosificaciones de diseño en peso y un tiempo de mezclado óptimo (6-15 minutos) para asegurar la homogeneidad de la mezcla. La consistencia, que debe ser de $9 \frac{1}{2} \pm \frac{1}{4}$ in., se verifica en todos los despachos mediante la prueba de slump, y la data generada será validada por el supervisor de planta de concreto.
- ✓ La presión de aire para el lanzamiento de shotcrete debe ser superior a 3.0 bares, manteniendo un caudal constante de aire entre 12 y 13 m³/h durante el proceso.

d) Distribución de Pernos

- ✓ En roca regular III-B (shotcrete 1.5" más Perno Omega).

En secciones de labores de 3.80x4.00m, los pernos omegas se instalarán sobre una superficie de shotcrete 1.5" de forma sistemática espaciado a 1.5mx1.5m, es decir en cada fila se tendrá 6 pernos omega. Así mismo, se colocará el primer perno a 50 cm por encima de la gradiente.

✓ **En roca mala IV-A (shotcrete 2" más Perno Omega)**

En secciones de labores de 3.80x4.00m, los pernos omegas se instalarán sobre una superficie de shotcrete 2" de forma sistemática espaciado a 1.5mx1.5m, es decir en cada fila se tendrá 6 pernos omega. Así mismo, se colocará el primer perno a 50 cm por encima de la gradiente.

En secciones de labores de 4.0x4.5m, los pernos omegas se instalarán sobre una superficie de shotcrete 1.5" de forma sistemática espaciado a 1.5mx1.5m, es decir en cada fila se tendrá 7 pernos omega. Así mismo, se colocará el primer perno a 50 cm por encima de la gradiente.

✓ **En roca mala IV-B (malla electrosoldada #10 de cocada 4"x4").**

En secciones de labores 3.80x4.00m, los pernos omegas se distribuirán en filas de 7x6, respetando el espaciamiento entre pernos de máximo 1.3mx1.3m.

En secciones de labores 4.0x4.5m, los pernos omegas se distribuirán en filas de 8x7, respetando el espaciamiento entre pernos de máximo 1.3mx1.3m.

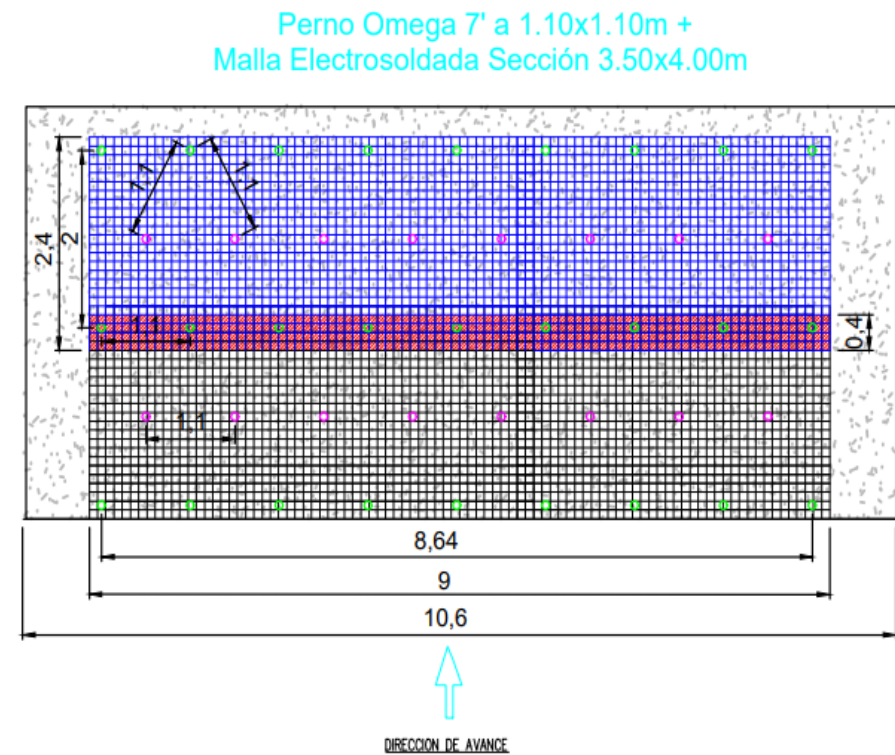
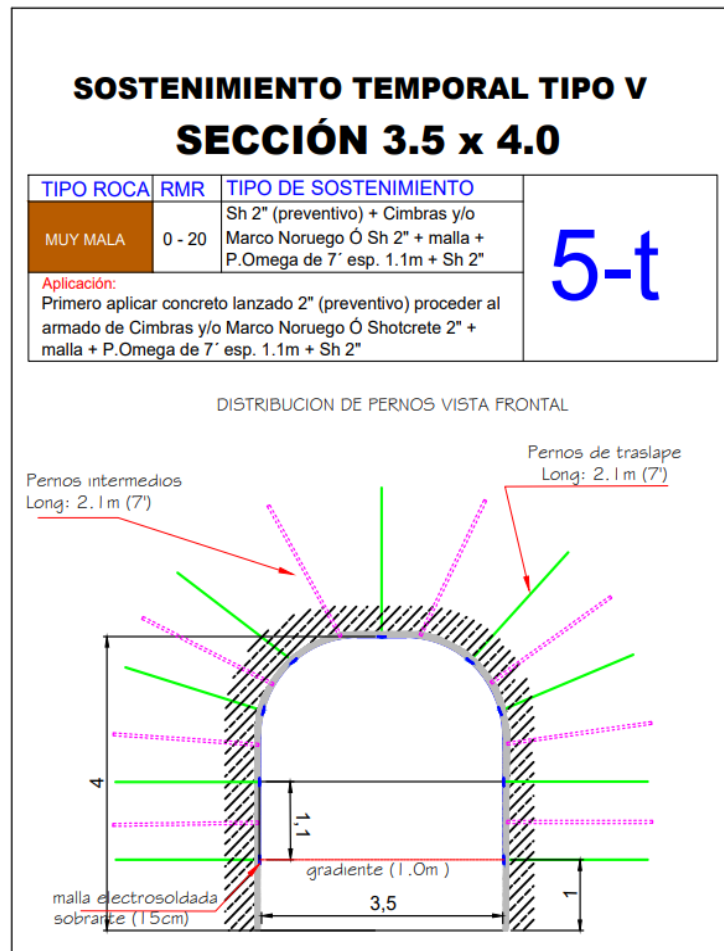
✓ **En roca muy mala V (shotcrete 2" + Perno Omega + Malla Electrosoldada + Sh2").**

En secciones de labores 3.80x4.00m, los pernos omegas se distribuirán en filas de 9x8, respetando el espaciamiento entre pernos de máximo 1.1mx1.1m.

En secciones de labores de 4.00x4.50m, el sostenimiento se realizará con shotcrete 2" más cimbras y/o arco noruego.

Figura 54

Estándar de sostenimiento tipo V



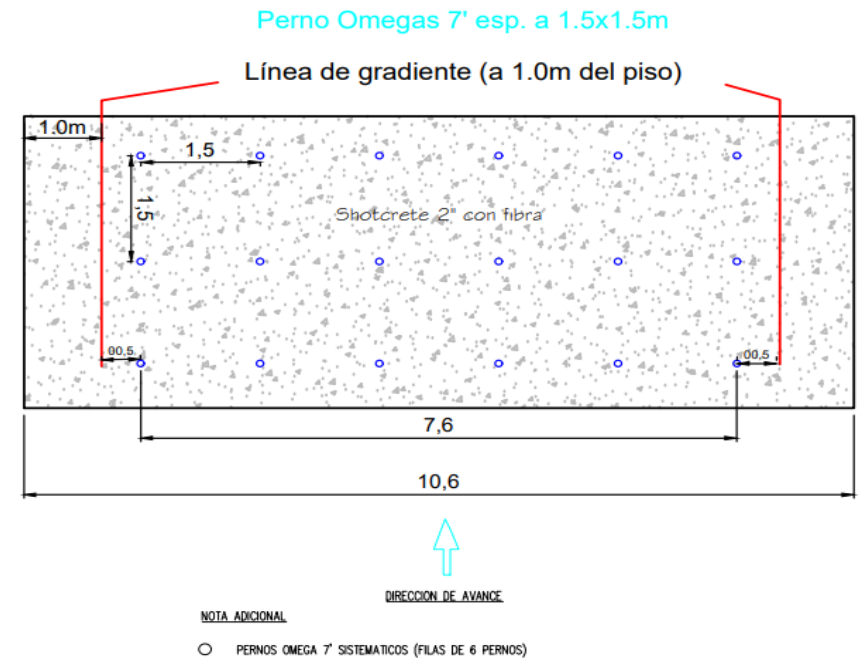
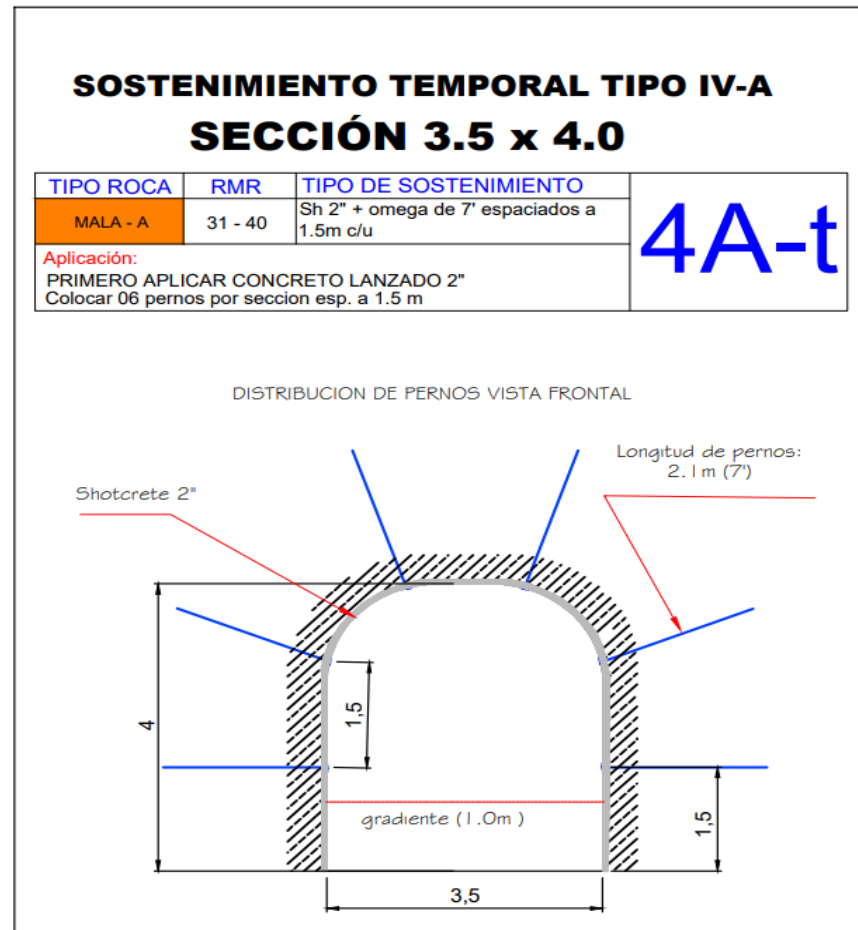
NOTA ADICIONAL

- PERNOS OMEGA 7" + MALLA (FILAS DE 9 Y 8 PERNOS)
- CONSIDERAR INSTALACION DE PLACAS DE TRASLAPE EN LAS COLUMNAS DE TRASLAPE DE MALLAS

Fuente: Estándar de sostenimiento

Figura 55

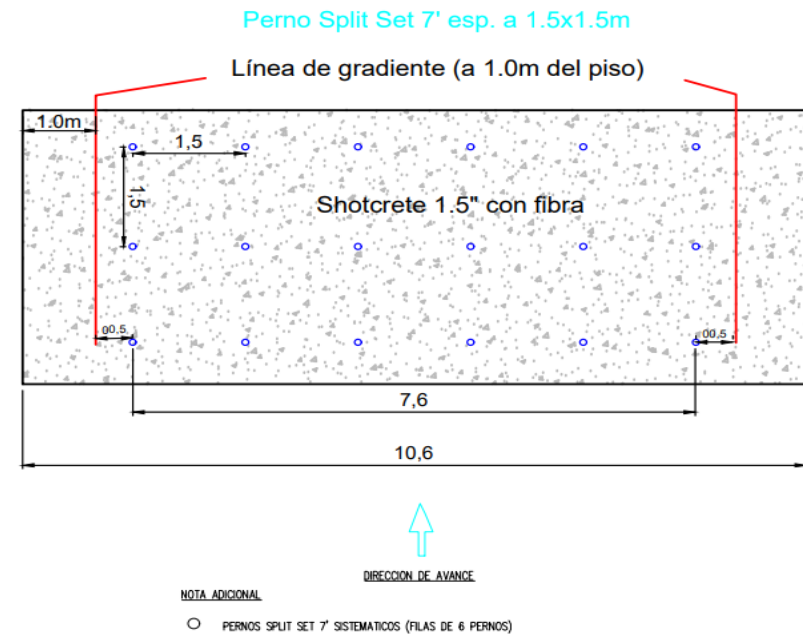
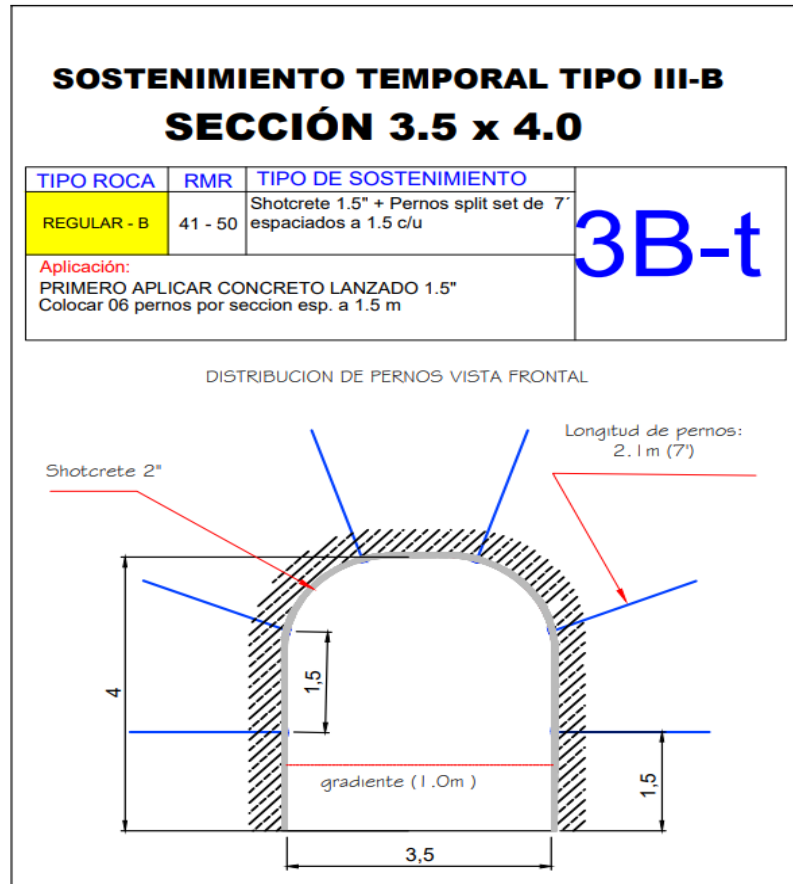
Estándar de sostenimiento tipo IV A



Fuente: Estándar de sostenimiento

Figura 56

Estándar de sostenimiento tipo III B



Fuente: Estándar de sostenimiento

8. Servicios Auxiliares

En las operaciones de IESA en la mina ANIMON, se realiza trabajos de estandarización de tubería de agua y aire para los trabajos operativos de avance.

Para iniciar la instalación de tuberías de servicios se tiene que desenrollar la tubería entre 3 personas, dicha tubería se tiene que dejar por una guardia extendida en el hastial para así eliminar las puntas curvadas.

El personal deberá asegurar el otro extremo de la tubería con cadena en la alcayata en caso lo necesite, y así mantenerla estirada durante una guardia como mínimo. La instalación de válvula de aire y /o agua de 2” (Puntera) se realiza utilizando hidrocoplas de 2.1” el cual se realiza en el piso entre 3 personas

La instalación de válvula de aire y /o agua de 2” (válvula de paso y/o empalme de tubería) se realiza utilizando hidrocoplas de 2.1”, procederá a estandarizar (realizar el levante) las tuberías de agua y aire.

El ayudante se ubicará a más de 5m. Verificará las condiciones de las tuberías.

El operador estará atento desde su cabina a las señales de comunicación para la operación del equipo.

Asegurar las tuberías de servicio al cáncamo y/o alcayatas con cadena.

Tabla 24

Flota de manipulador telescópico

Código SAP	Código Interno	Flota	Marca	Modelo	Unidad de Operación	Área Sponsor
IES-CUT-0055	ICC-055	MANIPULADOR TELESCOPICO	KOMATSU	MT-1030 ST	Animon	Op Mina IESA

Fuente: Mantenimiento IESA

Anexo 2

Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES INDICADORES	METODOLOGIA
Problemas Generales. P.- ¿Cómo se debe mejorar el proceso operativo de avance por disparo para reducir las penalidades de la valorización mensual en la empresa contratista IESA SA -UP ANIMON?	Objetivo General. O.- Mejorar la capacidad de proceso de avance por disparo para reducir las penalidades en la valorización mensual en la empresa contratista IESA SA -UP ANIMON	Hipótesis General. H.- Con la aplicación de la metodología LEAN SIX SIGMA se puede mejorar la capacidad de proceso de avance por disparo y evitará las penalidades en la valorización mensual en la empresa contratista IESA SA -UP ANIMON.	1.- Variable Dependiente. - Avance por disparo Factores - Programa de desarrollo y explotación - Valorización mensual - Satisfacción del cliente - Eficiencia de costos	Tipo de investigación Aplicada con enfoque cuantitativo. Nivel de investigación El nivel de la investigación es longitudinal Diseño de investigación El diseño es evaluativo
Problemas Específicos. P1.- ¿Qué indicadores se debe establecer para medir en forma eficiente la capacidad del proceso operativo de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON? P2.- ¿Cuáles son las herramientas de mejora continua que se deben aplicar para mejorar la capacidad del proceso operativo de avance por disparo en la ECM IESA – UP Animon? P3.- ¿Cuáles son los resultados de la aplicación del método Lean Six Sigma que mejora la capacidad del proceso de avance por disparo en la ECM IESA – UP ANIMON?	Objetivos Específicos. O1.- Establecer indicadores que midan eficientemente la capacidad de proceso operativo de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON O2.- Definir las herramientas de mejora continua que se deben aplicar para mejorar la capacidad del proceso operativos de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON O3.- Obtener resultados de la aplicación del método Six Sigma que mejoren la capacidad del proceso de avance por disparo en la ECM IESA – UP ANIMON.	Hipótesis Específicos. H1.-Con la implementación del indicador de Avance por Disparo se puede medir eficientemente la capacidad del proceso operativo de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON. H2.- Con la definición de las herramientas de mejora continua de la metodología DMAIC de Six Sigma se puede mejorar la capacidad de proceso de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON. H3.- Con la aplicación efectiva de la metodología Six sigma se puede lograr resultados que mejoren la capacidad de proceso de avance por disparo en la ECM IESA SA – UP ANIMON.	2.- Variable Independiente. Metodología Lean Six Sigma Factores - Estandarización de malla de perforación - Capacidad del proceso de avance - Calidad de avance - Gestión de mejoras	El diseño de la investigación GE: 01 X 02 G.E. Grupo Experimental. 01: Pre Test 02: Post Test X: Manipulación de la Variable Independiente. Universo, población y muestra Población: 600 disparos Muestra: 10 disp./día en los meses de julio y agosto del 2022.

Anexo 3

Formato de verificación y cumplimiento de estándares y procedimiento de perforación de frentes con jumbo electrohidráulico

		FORMATO		CODIGO: F-ANI-MIN-12	
		VERIFICACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE ESTÁNDARES Y PROCEDIMIENTOS DE PERFORACIÓN DE FRENTES CON JUMBO ELECTROHIDRÁULICO		VERSION: 01	
				PAGINA: 1 de 1	

UNIDAD:		EMPRESA:		NIVEL:	
LABOR:		VETA:		FECHA:	

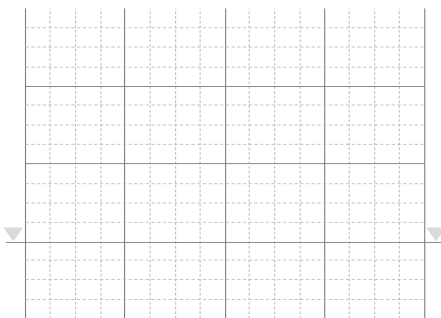
N°	Valoración: SI=1 / NO=0	ÍTEM A EVALUAR
1		MATERIALES Y HERRAMIENTAS
1.1.		¿Cuenta con plomada y cordeles?
1.2.		¿Cuenta con pintura spray?
1.3.		¿Cuenta con flexómetro?
1.4.		¿Cuenta con guíadores?
1.5.		¿Cuenta con plantilla de arranque?
2		CONTROL OPERACIONAL (ANTES)
2.1.		¿Verifica el correcto marcado de Dirección?
2.2.		¿Verifica el correcto marcado de Gradiente?
2.3.		¿Verifica el correcto marcado de Malla?
2.4.		¿Pinta el arranque según el estándar?
3		CONTROL OPERACIONAL (DURANTE)
3.1.		¿Pega el Dowel al frente?
3.2.		¿Emboquilla con presiones bajas?
3.3.		¿Perfora según malla estándar?
3.4.		¿Usa guíadores?
3.5.		¿Limpia todos los taladros?
3.6.		¿Entuba los taladros necesarios?
3.7.		¿Perfora taladros de alivio en el contorno?
3.8.		¿Conserva paralelismo?
3.9.		¿Conserva simetría?
3.10.		¿La longitud de los taladros es homogénea?
3.11.		¿Repasa los taladros de arranque después de perforar los rimados?
3.12.		¿La broca que utiliza es la adecuada según el tipo de terreno? (45 mm para roca dura, 51 mm para roca suave)

OTRAS OBSERVACIONES Y/O DESVIACIONES:	
ARRANQUE	
EQUIPO JUMBO:	

<i>"El respeto que le das a los demás y a las normas es un claro reflejo del respeto que te das a ti mismo."</i>		COLABORADOR (APELLIDOS Y NOMBRES)		FIRMA	
		SUPERVISOR (APELLIDOS Y NOMBRES)		FIRMA	

Anexo 4

Formato de verificación y cumplimiento de estándares y procedimientos de carguío

		FORMATO		CODIGO: F-ANI-MIN-12			
		VERIFICACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE ESTÁNDARES Y PROCEDIMIENTOS DE CARGUÍO		VERSION: 01			
				PAGINA: 1 de 1			
UNIDAD:		EMPRESA:		NIVEL:			
LABOR:		VETA:		FECHA:			
N°	Valoración: SI=1 / NO=0	ÍTEM A EVALUAR					
1		MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
1.1.		¿Cuenta con flexómetro?					
1.2.		¿Cuenta con plomada y cordes?					
1.3.		¿Cuenta con escalera telescópica en buen estado?					
1.4.		¿Cuenta con punzones?					
1.5.		¿Cuenta con tacos de arcilla?					
1.6.		¿Cuenta con pintura?					
1.7.		¿Cuenta con atacadores de madera de 3.5 m?					
1.8.		¿Cuenta con cucharillas?					
		¿Cuenta con navaja bien afilada?					
2		CONTROL OPERACIONAL (ANTES)					
2.1.		¿Tiene claro la clasificación geomecánica?					
2.2.		¿Tiene claro el tipo de malla de perforación a elegir según la clasificación geomecánica y sección de labor?					
2.3.		¿Pinta y prolonga la gradiente?					
2.4.		¿Pinta y prolonga la dirección?					
2.5.		¿Pinta y cuadrícula la malla de acuerdo al estándar?					
2.6.		¿Pinta colas?					
2.7.		¿Apoya en la dirección de paralelismo al perforista?					
2.8.		¿Realiza el correcto cebado de cartuchos utilizando el punzón?					
2.9.		¿Limpia los taladros antes del carguío?					
2.10.		¿Entuba los taladros necesarios?					
2.11.		¿Distribuye correctamente los retardos?					
2.12.		¿Carga según estándar los taladros del arrastre cuando hay material removido?					
3		CONTROL OPERACIONAL (DURANTE)					
3.1.		¿Carga y ataca suavemente los cartuchos de 1 en 1 ó 2 en 2?					
3.2.		¿Confina los taladros cargados con tacos de arcilla?					
3.3.		¿Amarre correcto con cordón detonante con 1 puente como mínimo?					
3.4.		¿Sigue la recomendación de no confinar los taladros de contorno?					
3.5.		¿Devuelve los accesorios y explosivos sobrantes?					
3.6.		¿El tiempo de carguío es? 50 min en breasting, 1 h en frentes (hasta 3.5X4.0) y 1.5 horas en frentes (> 3.5X4.0)					
		DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA EXPLOSIVA					
		TIPO	CANTIDAD	EMULEX 100	EMULEX 80	EMULEX 65	EMULEX 45
		CEBO					
		TOTAL					
<i>"El respeto que le das a los demás y a las normas es un claro reflejo del respeto que te das a ti mismo."</i>		COLABORADOR (APELLIDOS Y NOMBRES)		FIRMA			
		EVALUADOR (APELLIDOS Y NOMBRES)		FIRMA			

Anexo 5

Formato de informe de investigación de fallas en perforación y voladura

	FORMATO		CODIGO: F-COR-OPE-54
	INFORME DE INVESTIGACIÓN DE FALLAS EN PERFORACION Y VOLADURA		VERSIÓN: 01
			PÁGINA: 01 de 02

DATOS DEL EVENTO			
PERDIDA EN EL PROCESO:	Lugar del evento:	Fecha:	Turno de ocurrencia:
Nro.	Costo estimado de la pérdida real: s/.	Hora:	Fecha de entrega del informe:
	Costo estimado de la pérdida potencial: s/.	Area: Mina	

DATOS DE LOS INVOLUCRADOS EN LA PERFORACION			
APELLIDOS Y Nombres:	DNI:	Edad:	Antigüedad en IESA:
Ocupación:	Tiempo en la ocupación:	Experiencia en Minería:	
Grado de la preparacion Tecnica Especializada:	Institución:	Fecha de certificación:	
Horas acumuladas de capacitación en perforacion y/o voladura:	Reincidencia de falla:	Fecha de ultimo curso:	

DATOS DE LOS INVOLUCRADOS EN EL CARGUIO			
APELLIDOS Y Nombres:	DNI:	Edad:	Antigüedad en IESA:
Ocupación:	Tiempo en la ocupación:	Experiencia en Minería:	
Grado de la preparacion Tecnica Especializada:	Institución:	Fecha de certificación:	
Horas acumuladas de capacitación en perforacion y/o voladura:	Reincidencia de falla:	Fecha de ultimo curso:	

DESCRIPCIÓN DEL EVENTO	

TIPOS DE FALLA EN VOLADURA O RESULTADOS ERRATICOS DE LA PERFORACION Y VOLADURA EN FRENTE DE AVANCE	
☐ 1. Tiros sopladados ☐ 2. Tiros cortados ☐ 3. Tiros anillados ☐ 4. Tiro congelado ☐ 5. Tiros confinados ☐ 6. Avance deficiente ☐ 7. Sobre excavacion y/o sobrerotura en hastiales	☐ 8. Sobre excavacion y/o sobrerotura en corona ☐ 9. Sobreexcavación del piso ☐ 10. Frente de perforación irregular ☐ 11. Avance fuera del proyecto ☐ 12. Frente anillado ☐ 13. Disparo no iniciado ☐ 14. Otros: (Especificar):

DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA	

ANÁLISIS DE CAUSAS	
CAUSAS SUBESTANDARES	CAUSAS INMEDIATAS
ACCIONES SUBESTANDARES EN PERFORACION: ☐ 1. Perforar el frente sin pintar la malla de perforacion ☐ 2. Perforar el frente sin pintar la seccion de la labor ☐ 3. Perforar el frente sin pintar la linea de gradiente o direccion d ☐ 4. Perforar sin considerar el estandar de la malla de perforacion ☐ 5. Perforar sin utilizar los guidores de aluminio ☐ 6. Perforar sin controlar ni dirigir el paralelismo entre taladros ☐ 7. Perforar sin utilizar la plantilla de perforación para el arranqu ☐ 8. Perforar sin acatar la recomendación para taladros de conton ☐ 9. Perforar sin colocar tubos de arrastre en taladros inferiores ☐ 10. Perforar aplicando exceso de espaciamento entre taladros de contorno ☐ 11. Perforar el frente sin contar con el proyecto de la labor ☐ 12. Perforación sin el muestreo previo de geología ☐ 13. Perforar el frente sin pintar la proyección de las colas ☐ 14. Perforar el frente sin barrer los detritus del taladro ☐ 15. Otros: (Especificar): No controlar longitud de perforación	CONDICIONES SUBESTANDARES EN PERFORACION: ☐ 1. Presencia de geodas, fallas y otras discontinuidades ☐ 2. Terreno muy fracturado o intensamente fracturado ☐ 3. Roca panizada o plástica ☐ 4. Otras fallas en la estructura rocosa ☐ 5. Presencia de deformaciones en superficie del frente por voladuras defectuosas ☐ 6. Presencia de tacos o taladros sopladados de la voladura anterior ☐ 7. No contar con la malla de perforación según tipo de roca ☐ 8. No contar con la plantilla de perforación de arranque por tipo de roca ☐ 9. No contar con los guidores de aluminio ☐ 10. Equipo de perforación con desperfectos en brazo ☐ 11. Habilitacion tardia de labores de perforacion ☐ 12. Espacio reducido para la perforacion del frente ☐ 13. No contar con los tubos de perforacion ☐ 14. No contar con el tiempo suficiente para la perforación ☐ 15. Otros: (Especificar): Caambio de tipo de roca de un IV a un III

EN CARGUIO: ☐ 16. No usar el explosivo adecuado según diseño de carga ☐ 17. No colocar los faneles según la secuencia de voladura ☐ 18. No utilizar el fanel de longitud adecuada a la perforación ☐ 19. No aplicar atacado de cartuchos o hacerlo inadecuadamente ☐ 20. Amarre inadecuado del cordón detonante o pentacord ☐ 21. No aplicar los dos carmes de seguridad para iniciar el disparo ☐ 22. Completar por faneles faltantes con carmes en el cebado de cartuchos ☐ 23. No emplear los accesorios de voladura controlada para l ☐ 24. No emplear cañas para voladura controlada ☐ 25. No realizar los cortes axiales a los cartuchos ☐ 26. No utilizar los tacos de arcilla o tacos inertes ☐ 27. No utilizar el punzón de cobre para el cebado de cartuchos. ☐ 28. No retirar de explosivo remanente del frente ☐ 29. Carguío excesivo de explosivo en los taladros ☐ 30. Utilizar explosivos en mal estado ☐ 31. No utilizar las cucharillas para limpieza de taladros o no limpiartaladros ☐ 32. Iniciar el cargio fuera del limite establecido para el inicio. ☐ 33. Otros: (Especificar):		EN CARGUIO: ☐ 16. Perforación defectuosa ☐ 17. Entrega de labor perforada fuera del tiempo estimado de carguío ☐ 18. Entrega retrasada de material explosivo ☐ 19. Taladros obstruidos o cerrados por tipo de roca ☐ 20. Taladros perforados sin colocación de tubos ☐ 21. Tubos de diámetro incorrecto al explosivo a utilizar ☐ 22. No contar con los explosivos adecuados y necesarios ☐ 23. No contar con los accesorios adecuados y necesarios ☐ 24. No contar con los tacos de arcilla o tacos inertes ☐ 25. No contar con los atacadores adecuados. ☐ 26. No contar con los punzones de cobre ☐ 27. No contar con la herramienta de corte (Cutter) ☐ 28. No contar con escaleras adecuadas o estas esten deterioradas ☐ 29. Personal insuficiente para la actividad. ☐ 30. Personal en exceso. ☐ 31. No contar con movilidad para el retiro de material explosivo remanente ☐ 32. Presencia de geodas, fallas y otras discontinuidades ☐ 33. Otros: (Especificar):			
DESCRIPCIÓN DE CAUSAS INMEDIATAS					
CAUSAS BÁSICAS					
FACTORES PERSONALES ☐ 1. Capacidad física ☐ 2. Capacidad mental / psicologica inadecuada ☐ 3. Estrés físico / fisiológico ☐ 4. Estrés mental / psicológico ☐ 5. Falta de competencia ☐ 6. Motivación incorrecta		FACTORES DE TRABAJO ☐ 7. Estructura organizativa poco clara ☐ 8. Liderazgo inadecuado ☐ 9. Inadecuada supervisión / Coaching ☐ 10. Inadecuada administración del cambio ☐ 11. Inadecuada administración de la cadena de suministros ☐ 12. Inadecuado mantenimiento / inspección ☐ 13. Desgaste excesivo ☐ 14. Inadecuada herramienta / equipo / maquinaria / dispositivo ☐ 15. Inadecuado diseño de producto / servicio ☐ 16. Inadecuado estandar de trabajo / producción ☐ 17. Inadecuada comunicación / información			
DESCRIPCIÓN DE CAUSAS BÁSICAS					
PLAN DE ACCIÓN CORRECTIVA / PREVENTIVA					
ITEM	ACCIÓN CORRECTIVA / PREVENTIVA	RESPONSABLE	PLAZO EJECUCION	VERIFICACIÓN	(%) AVANCE
EQUIPO DE INVESTIGACIÓN					
ITEM	APELLIDOS Y NOMBRES	CARGO / OCUPACION	FIRMA		
RESPONSABLE DEL REGISTRO					
NOMBRE Y APELLIDO		PUESTO	FECHA	FIRMA	