

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de
chimeneas en la Compañía Minera Condestable – Mina Raúl**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Lider Wilder USCUCHAGUA VICUÑA

Asesor:

Dr. Floro Pagel ZENTENO GOMEZ

Cerro de Pasco – Perú - 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

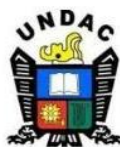
**Implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de
chimeneas en la Compañía Minera Condestable – Mina Raúl**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Vicente César DAVILA CORDOVA
PRESIDENTE

Mg. Silvestre Fabian BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO

Mg. Wilfried Bryan PEREZ PARRAGUEZ
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 026-2026

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. USCUCHAGUA VICUÑA, Lider Wilder

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo:
"Implementación de Plataformas Trepadoras Alimak en la Construcción de Chimeneas en la Compañía Minera Condestable – Mina Raúl."

Asesor:
Dr. Floro Pagel ZENTENO GOMEZ

Índice de Similitud: 5 %

Calificativo:

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 01 de julio de 2026



Firmado digitalmente por
FERNÁNDEZ MALLQUI Raul FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2026 16:49:30 -05:00

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, quienes, con su enseñanza, experiencia y compromiso con la formación profesional, contribuyeron de manera significativa a mi desarrollo académico y personal. Sus conocimientos, orientaciones y exigencia constante fueron fundamentales para fortalecer mi vocación y mi preparación como futuro profesional del sector minero.

Asimismo, dedico esta investigación a los trabajadores de la Compañía Minera Condestable – Mina Raúl, por su valioso aporte, colaboración y disposición durante el desarrollo del presente estudio. Su experiencia, esfuerzo diario y compromiso con las actividades mineras constituyen una fuente importante de aprendizaje y motivación para comprender, desde una perspectiva real, los desafíos y oportunidades de la ingeniería de minas en el ámbito operativo.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres, por su amor, apoyo incondicional, comprensión y esfuerzo constante a lo largo de mi formación personal y profesional. Gracias a sus valores, consejos y sacrificio, ha sido posible culminar esta importante etapa académica. Su confianza y aliento permanente han sido fundamentales para seguir adelante frente a cada reto.

De manera especial, agradezco a mi asesor de tesis, por su orientación, dedicación y valiosos aportes durante el desarrollo de la presente investigación. Su experiencia, disposición y acompañamiento académico fueron esenciales para encaminar y fortalecer este trabajo, contribuyendo significativamente a su culminación.

Asimismo, expreso mi sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, brindaron su apoyo en la elaboración de esta tesis. Ya sea mediante sus sugerencias, colaboración, facilidades otorgadas o palabras de motivación, cada aporte fue importante para la realización de este estudio.

A todos ellos, mi reconocimiento y gratitud por haber sido parte de este logro académico.

RESUMEN

La presente investigación analiza la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas en la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl, con el propósito de determinar su influencia en la rentabilidad de la operación y en la reducción de accidentes laborales. El estudio se fundamenta en la necesidad de optimizar las labores verticales en minería subterránea, considerando que los métodos convencionales de construcción de chimeneas presentan limitaciones importantes en términos de seguridad, tiempo de ejecución, continuidad operativa y rendimiento de avance. Estas restricciones repercuten directamente en la eficiencia del proceso constructivo y en el desempeño global de la unidad minera.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación corresponde a un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y de nivel explicativo, con un diseño no experimental, transeccional y correlacional-causal. La población de estudio estuvo conformada por el personal técnico y operativo involucrado en la construcción de chimeneas, así como por los registros operativos, productivos y de seguridad generados en la Mina Raúl. Para la recolección de información se emplearon técnicas como la observación directa, el análisis documental y la entrevista, utilizando instrumentos estructurados que permitieron sistematizar la información vinculada al uso de las plataformas trepadoras Alimak y a su incidencia sobre las variables de estudio.

Los resultados evidencian que la implementación del sistema Alimak constituye una alternativa tecnológica de alto valor para la minería subterránea, debido a que permite mecanizar el proceso de construcción de chimeneas, mejorar las condiciones de seguridad del personal, optimizar el ciclo de trabajo y elevar el rendimiento operativo. Entre los principales beneficios identificados se encuentran la reducción de la exposición del trabajador a zonas de riesgo, el incremento del avance por disparo, la disminución del tiempo total de ejecución y la

mejora de la estabilidad y control del proceso constructivo. Asimismo, se establece que, aunque el costo unitario del sistema Alimak puede ser superior al del método convencional, su aplicación genera ventajas operativas y económicas que se reflejan en una mejor rentabilidad, al reducir tiempos improductivos, minimizar contingencias y favorecer la continuidad de las operaciones mineras.

En términos de seguridad, la investigación demuestra que la incorporación de plataformas trepadoras Alimak contribuye de manera significativa a la disminución de la accidentabilidad laboral, al ofrecer un entorno de trabajo más controlado, con mejores condiciones de acceso, desplazamiento y ejecución de actividades en labores verticales. Esta mejora no solo tiene implicancias técnicas y operativas, sino también sociales, al fortalecer la protección de la integridad física del trabajador y promover una gestión minera más segura y responsable.

En conclusión, la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas en la Mina Raúl representa una alternativa técnicamente viable, operacionalmente eficiente y estratégicamente favorable para la optimización de las labores subterráneas. Su influencia positiva sobre la rentabilidad y la reducción de accidentes laborales permite sostener que su adopción constituye una decisión de alto valor para la modernización de los procesos mineros y para el fortalecimiento de la competitividad de la Compañía Minera Condestable S.A.

Palabras clave: Plataforma trepadora Alimak, construcción de chimeneas, minería subterránea, seguridad operativa, eficiencia constructiva.

ABSTRACT

This study analyzes the implementation of Alimak climbing platforms in the construction of shafts at Compañía Minera Condestable S.A. – Raúl Mine, with the aim of determining their impact on the operation's profitability and on the reduction of workplace accidents. The study is based on the need to optimize vertical work in underground mining, given that conventional methods of shaft construction present significant limitations in terms of safety, execution time, operational continuity, and advance rate. These constraints directly impact the efficiency of the construction process and the overall performance of the mining unit.

From a methodological standpoint, the research employs a quantitative, applied, and explanatory approach, with a non-experimental, cross-sectional, and correlational-causal design. The study population consisted of the technical and operational personnel involved in shaft construction, as well as the operational, production, and safety records generated at the Raúl Mine. Techniques such as direct observation, document analysis, and interviews were used to collect information, employing structured instruments that allowed for the systematization of data related to the use of Alimak climbing platforms and their impact on the study variables.

The results show that the implementation of the Alimak system constitutes a high-value technological alternative for underground mining, as it allows for the mechanization of the shaft construction process, improves personnel safety conditions, optimizes the work cycle, and increases operational performance. Among the main benefits identified are reduced worker exposure to hazardous areas, increased advance per blast, decreased total execution time, and improved stability and control of the construction process. Furthermore, it is established that, although the unit cost of the Alimak system may be higher than that of the conventional method, its application generates operational and economic advantages that translate into

improved profitability by reducing downtime, minimizing contingencies, and promoting the continuity of mining operations.

In terms of safety, the research demonstrates that the incorporation of Alimak climbing platforms contributes significantly to reducing workplace accidents by providing a more controlled work environment with improved conditions for access, movement, and the performance of vertical work activities. This improvement has not only technical and operational implications but also social ones, as it strengthens the protection of workers' physical safety and promotes safer and more responsible mining management.

In conclusion, the implementation of Alimak climbing platforms in the construction of shafts at the Raúl Mine represents a technically viable, operationally efficient, and strategically favorable alternative for optimizing underground operations. Their positive impact on profitability and the reduction of workplace accidents supports the view that their adoption constitutes a highly valuable decision for the modernization of mining processes and for strengthening the competitiveness of Compañía Minera Condestable S.A.

Keywords: Alimak climbing platform, shaft construction, underground mining, operational safety, construction efficiency.

INTRODUCCIÓN

En la minería subterránea contemporánea, la construcción de chimeneas constituye una de las labores de mayor importancia estratégica dentro del desarrollo, preparación y explotación del yacimiento, debido a que estas excavaciones cumplen funciones esenciales de ventilación, acceso, comunicación entre niveles, paso de servicios y transferencia de mineral. Sin embargo, su ejecución también representa uno de los procesos de mayor complejidad técnica, operativa y de seguridad, especialmente cuando se realiza mediante métodos convencionales caracterizados por una elevada participación de mano de obra directa, menores rendimientos de avance y una mayor exposición del personal a condiciones críticas de trabajo. En ese contexto, la optimización de las labores verticales se ha convertido en una necesidad prioritaria para las empresas mineras que buscan mejorar simultáneamente su productividad, seguridad operativa y eficiencia económica.

El desarrollo tecnológico aplicado a la minería ha permitido una transición progresiva desde sistemas tradicionales de perforación y voladura hacia esquemas mecanizados y automatizados, orientados a reducir riesgos, aumentar la continuidad de la operación y mejorar el aprovechamiento de los recursos. Dentro de esta evolución, las plataformas trepadoras Alimak han adquirido relevancia como una alternativa técnica de alto valor para la construcción de chimeneas en minería subterránea, debido a su capacidad para mecanizar el ascenso, facilitar las actividades de perforación, voladura, desate, sostenimiento y limpieza, y proporcionar mejores condiciones de seguridad durante la ejecución de labores verticales. Su aplicación resulta particularmente pertinente en entornos geomecánicos complejos y en operaciones donde la rapidez de habilitación de chimeneas influye directamente en la secuencia de minado y en el cumplimiento de la programación operativa.

A pesar de las ventajas atribuidas a este sistema, en muchas operaciones mineras la decisión de implementar plataformas trepadoras Alimak no siempre se encuentra respaldada

por una evaluación técnica integral que permita demostrar con claridad su influencia en variables críticas como la rentabilidad, el rendimiento de avance, el tiempo de ejecución y la reducción de accidentes laborales. Los métodos convencionales continúan utilizándose en numerosos escenarios, aun cuando presentan limitaciones asociadas a mayores tiempos de construcción, condiciones de trabajo más exigentes, restricciones de ventilación, problemas de estabilidad y una mayor exposición del trabajador a eventos de riesgo, tales como caída de rocas, manipulación manual de materiales y trabajos en altura. Esta situación evidencia la existencia de una brecha de conocimiento aplicada al contexto operativo minero, particularmente en relación con la evaluación comparativa de sistemas mecanizados frente a métodos tradicionales en labores de chimeneas.

En el caso de la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl, la construcción de chimeneas representa una actividad clave para el sostenimiento del desarrollo subterráneo y la continuidad de las operaciones. Cualquier deficiencia en este proceso puede generar retrasos en la preparación minera, alterar la secuencia de explotación, afectar la ventilación de las labores y comprometer el desempeño global de la unidad. Por ello, analizar la implementación de plataformas trepadoras Alimak en este contexto no solo responde a una inquietud técnica, sino a una necesidad operativa concreta orientada a fortalecer la competitividad, la seguridad y la sostenibilidad del proceso constructivo de labores verticales.

Bajo esta perspectiva, la presente investigación se orienta a determinar de qué manera la implementación de plataformas trepadoras Alimak influye en la construcción de chimeneas en la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl, considerando específicamente su efecto en el incremento de la rentabilidad y en la reducción de accidentes laborales. De forma complementaria, se analiza su incidencia sobre las condiciones operativas del equipo, el grado de mecanización del proceso, la eficiencia constructiva y el comportamiento general del sistema frente a las exigencias propias de la minería subterránea. La relevancia del estudio

radica en que permitirá generar evidencia técnica útil para sustentar decisiones relacionadas con la selección de métodos de construcción de chimeneas, así como aportar conocimientos aplicables a futuras investigaciones y proyectos vinculados con innovación tecnológica en minería.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y nivel explicativo, con diseño no experimental, transeccional y correlacional-causal. Para ello, se recurre a técnicas de observación directa, análisis documental y entrevista, a fin de recopilar información técnica, operativa y de seguridad relacionada con el uso de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas. Esta estructura metodológica permite estudiar el fenómeno en su contexto real de operación, sin alterar las condiciones naturales en las que se desarrolla, y aporta una base objetiva para la contrastación de hipótesis y la interpretación de resultados.

En consecuencia, esta tesis se justifica por su valor teórico, práctico, metodológico, social y económico. Teóricamente, contribuye a fortalecer el conocimiento sobre mecanización minera aplicada a labores verticales; prácticamente, ofrece información útil para optimizar procesos constructivos en minería subterránea; metodológicamente, propone una ruta de análisis aplicable a estudios similares; socialmente, aporta al fortalecimiento de condiciones de trabajo más seguras; y económicamente, permite sustentar el potencial de una tecnología capaz de mejorar el desempeño operativo y favorecer la rentabilidad de la unidad minera. En tal sentido, la implementación de plataformas trepadoras Alimak no debe entenderse únicamente como una sustitución de equipos o procedimientos, sino como una estrategia de modernización operativa orientada a elevar los estándares de seguridad, eficiencia y competitividad en la construcción de chimeneas.

ÍNDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la Investigación	3
1.2.1. Delimitación espacial	3
1.2.2. Delimitación Temporal	3
1.2.3. Delimitación Temática	3
1.2.4. Delimitación Metodológica	4
1.2.5. Delimitación poblacional	4
1.3. Formulación del Problema	4
1.3.1. Problema general	4
1.3.2. Problemas específicos	5
1.4. Formulación de Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5

1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Justificación de la Investigación.....	5
1.5.1. Justificación Teórica.....	6
1.5.2. Justificación Práctica	6
1.5.3. Justificación Metodológica.....	7
1.5.4. Justificación Social	8
1.5.5. Justificación Económica	8
1.6. Limitaciones de la Investigación	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	10
2.1.1. Antecedentes internacionales	10
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	16
2.2. Bases teóricas – científicas.....	21
2.2.1. Definición y Clasificación de Chimeneas	21
2.2.2. Método Convencional de Construcción de Chimeneas	22
2.2.3. Sistema Mecanizado con Plataforma Trepadora Alimak	24
2.2.4. Fundamentos de Ventilación	26
2.2.5. Fundamentos de Mecánica de Rocas.....	28
2.2.6. Índice de Calidad de la Roca (RQD)	28
2.2.7. Comparación entre Métodos de Construcción de Chimeneas	29
2.2.8. Ventajas y Limitaciones del Sistema Alimak.....	30
2.2.9. Normativa Aplicable en Perú	31
2.2.10. Compañía Minera Condestable S.A.	31
2.2.11. Ubicación y Accesibilidad.....	32

2.2.12. Reseña Histórica y Evolución Corporativa	37
2.2.13. Geología Regional	39
2.2.14. Geología Local y Estratigrafía.....	42
2.2.15. Geología Estructural y Controles de Mineralización	46
2.2.16. Geología Económica.....	47
2.2.17. Métodos de Explotación	49
2.2.18. Planta Concentradora y Proceso Metalúrgico	57
2.2.19. Desempeño Operativo y Producción	61
2.2.20. Gestión del Capital Humano y Estructura Organizativa.....	62
2.2.21. Seguridad, Salud Ocupacional y Certificaciones	63
2.2.22. Gestión Ambiental y Sostenibilidad	64
2.2.23. Reservas Minerales y Potencial de Exploración.....	66
2.3. Definición de términos básicos	68
2.4. Formulación de Hipótesis.....	72
2.4.1. Hipótesis general	72
2.4.2. Hipótesis específicas.....	72
2.5. Identificación de variables.....	73
2.5.1. Variables dependientes	73
2.5.2. Variables independientes	73
2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores.....	73
2.6.1. Variables de la Hipótesis General	76
2.6.2. Variables de las Hipótesis Secundarias	76

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	79
----------------------------------	----

3.2. Nivel de investigación	80
3.3. Métodos de investigación	81
3.4. Diseño de la investigación.....	81
3.5. Población y muestra	82
3.5.1. Población	82
3.5.2. Muestra	83
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	83
3.6.1. Técnicas de recolección de datos.....	83
3.6.2. Instrumentos de recolección de datos	84
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	85
3.7.1. Selección de los Instrumentos de Investigación	85
3.7.2. Validación de los Instrumentos	85
3.7.3. Confiabilidad de los Instrumentos	85
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	86
3.8.1. Técnicas de Procesamiento de Datos.....	86
3.8.2. Técnicas de Análisis de Datos	86
3.9. Tratamiento estadístico.....	87
3.10. Orientación Ética Filosófica y Epistémica	87

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	89
4.1.1. Marco operativo de la mina Raúl	90
4.1.2. Método Convencional de Construcción de Chimeneas	91
4.1.3. Sistema Mecanizado Alimak (Raise Climber)	94
4.1.4. Diseño de la Malla de Perforación y Voladura.....	96

4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	97
4.2.1.	Costo Unitario y de Operación: Método Alimak.....	98
4.2.2.	Comparativa con el Método Convencional	99
4.2.3.	Sostenimiento y Control Geomecánico	100
4.2.4.	Ventajas y Desventajas: Una Comparativa Estratégica.....	100
4.2.5.	Impacto en la Gestión de la Compañía Minera Condestable S.A.	102
4.2.6.	Resultado de la Evaluación Técnica y Económica	103
4.2.7.	Análisis de Seguridad y Desempeño Operacional de Condestable	104
4.2.8.	Análisis Económico y Financiero de Condestable S.A. (2023-2024)	114
4.2.9.	Indicadores de Inversión: VAN y TIR (2023-2024).....	120
4.3.	Prueba de Hipótesis	125
4.3.1.	Hipótesis General	125
4.3.2.	Análisis de los Datos	126
4.3.3.	Hipótesis Específicas	134
4.4.	Discusión de Resultados.....	143
CONCLUSIONES		
RECOMENDACIONES		
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Clasificación de Chimeneas Según su Geometría y Función	22
Tabla 2. Rendimientos Típicos del Método Convencional.....	23
Tabla 3. Componentes de la Plataforma Trepadora Alimak.....	25
Tabla 4. Especificaciones Técnicas del Equipo Alimak Modelo STH-5E	25
Tabla 5. Tiempos del Ciclo Operativo con Equipo Alimak.....	26
Tabla 6. Composición del Aire Seco en Condiciones Normales	27
Tabla 7. Características y Límites Permisibles de Gases en Minería	27
Tabla 8. Requerimiento de Caudal por Trabajador Según Altitud	27
Tabla 9. Clasificación RMR de Bieniawski (1989) Adaptada.....	28
Tabla 10. Clasificación de la Calidad de Roca Según RQD.....	28
Tabla 11. Sostenimiento Según Tipo de Roca Para Chimeneas Alimak	29
Tabla 12. Comparación del Convencional Vs. Alimak Vs. Raise Boring.....	29
Tabla 13. Normas Peruanas Aplicables a la Construcción de Chimeneas.....	31
Tabla 14. Ubicación de la Mina Raúl	33
Tabla 15. Hitos Históricos de la Mina Raúl.....	38
Tabla 16. Estadísticas de Producción 2024.....	61
Tabla 17. Indicadores Financieros Proyectados.....	62
Tabla 18. Tabla de Operacionalización de Variables e Indicadores	78
Tabla 19. Recursos y Limitaciones del Método Convencional	93

Tabla 20. Parámetros de Diseño de la Malla de Perforación	97
Tabla 21. Indicadores de Seguridad de Condestable 2023	106
Tabla 22. Reporte Estadístico de Accidentes de Condestable 2023	108
Tabla 23. Indicadores de Seguridad de Condestable 2024	110
Tabla 24. Reporte Estadístico de Accidentes de Condestable 2024	112
Tabla 25. Producción Mensual de Cobre en Condestable	115
Tabla 26. Producción de Subproductos: Oro y Plata	117
Tabla 27. Utilidad Neta de Condestable 2023-2024.....	119
Tabla 28. Valor Actual Neto Mensual 2023-2024.....	121
Tabla 29. Tasa Interna Mensual de Condestable 2023-2024.....	123
Tabla 30. Utilidad Neta y TIR de la CM Condestable.....	127
Tabla 31. Descriptivos de la Utilidad Neta y de la TIR de la UM Condestable.....	128
Tabla 32. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk	130
Tabla 33. Prueba de Mann Whitney U para Muestras Independientes.....	132
Tabla 34. Valor Actual Neto (VAN).....	134
Tabla 35. Descriptivos del VAN de la Compañía Minera Condestable	135
Tabla 36. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk	136
Tabla 37. Prueba t de Student para Muestras Relacionadas	138
Tabla 38. Índice de Accidentabilidad en la UM Condestable	139
Tabla 39. Descriptivos de la Variable en Estudio.....	140
Tabla 40. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk	141

Tabla 41. Prueba de Wilcoxon.....	142
Tabla 42. Media y Mediana de los Costos Operativos 2023 y 2024	143
Tabla 43. Discusión de Resultados	145

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema de una Chimenea Convencional de Doble Compartimiento.....	24
Figura 2. Ubicación de la Mina Raúl	34
Figura 3. Mapa de Accesibilidad de la Mina Raúl.....	36
Figura 4. Geología Regional de la Mina Raúl	40
Figura 5. Columna Lito estratigráfica de la Acumulación Condestable.....	41
Figura 6. Sección Transversal de la Mina Raúl	44
Figura 7. Unidades Geológicas de la Acumulación Condestable	45
Figura 8. Geología Estructural de la Mina Raúl	47
Figura 9. Método de Minado Shrinkage_1	50
Figura 10. Método de Minado Shirinkege_2	51
Figura 11. Método de Minado Sub Level Stoping – Vista en Planta	54
Figura 12. Método de Minado Sub Level Stoping – Vista Longitudinal y Transversal.....	55
Figura 13. Método de Minado Sub Level Stoping – Vista Transversal.....	56
Figura 14. Planta Concentradora de Condestable	59
Figura 15. Esquema de los Procesos de la Planta Concentradora.....	60
Figura 16. Trabajadores de la Mina Condestable	64
Figura 17. Políticas de Medio Ambiente	66
Figura 18. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	84
Figura 19. División de la Tolvas del Camión y Remolque.....	91
Figura 20. Sección Vertical de Chimenea.....	93
Figura 21. Fases en Chimeneas con el Sistema Alimak	95
Figura 22. Índice de Frecuencia de Condestable 2023	107
Figura 23. Índice de Severidad de Condestable 2023.....	107

Figura 24. Índice de Accidentabilidad de Condestable 2023	108
Figura 25. Índice de Frecuencia de Condestable 2024	110
Figura 26. Índice de Severidad de Condestable 2024.....	111
Figura 27. Índice de Accidentabilidad de Condestable 2024	111
Figura 28. Producción de Cobre en Condestable 2023-2024	116
Figura 29. Producción de Oro en Condestable 2023-2024.....	118
Figura 30. Producción de Plata en Condestable 2023-2024	118
Figura 31. Utilidad Neta en Condestable 2023-2024.....	120
Figura 32. Valor Actual Neto de Condestable 2023-2024.....	122
Figura 33. Utilidad Neta Condestable 2023-2024	122
Figura 34. Tasa Interna de Retorno de Condestable 2023-2024.....	124
Figura 35. Gráfico de Barras de la Utilidad Neta	128
Figura 36. Histograma de la Utilidad Neta	128
Figura 37. Gráfico de Barras de la Tasa Interna de Retorno	129
Figura 38. Histograma de la Tasa Interna de Retorno	129
Figura 39. Curva Normal de la Utilidad Neta.....	131
Figura 40. Curva Normal de la TIR.....	131
Figura 41. Media de la Utilidad Neta.....	132
Figura 42. Media y Mediana de la TIR (%).....	133
Figura 43. Gráfico de Barras del VAN	135
Figura 44. Histograma del VAN.....	136
Figura 45. Gráficos Q-Q del VAN 2023 y 2024.....	137
Figura 46. Gráfico de la Media y Mediana del VAN	138
Figura 47. Gráfico de Barras del Índice de Frecuencia de Accidentes.....	140
Figura 48. Histograma del Índice de Frecuencia de Accidentes.....	141

Figura 49. Gráficos Q-Q del Índice de Frecuencia de Accidentes	142
Figura 50. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_6626_1_175.....	159
Figura 51. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_6919_1_460.....	160
Figura 52. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_6794_1_640.....	161
Figura 53. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_6695_1_700.....	162
Figura 54. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_6796_1_700.....	163
Figura 55. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_4308_13_700.....	164
Figura 56. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_4234_6_790.....	165
Figura 57. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable RP_88_790	166
Figura 58. Compañía Minera Condestable	169
Figura 59. Limpieza del frente con Scoop R300G de 3.1 m ³ (4.1 yd ³).....	170
Figura 60. Apertura del Slot con Jumbo Hidráulico de 2 brazos.....	170
Figura 61. Trabajos de Alto Riesgo Usando Arnés de Línea Completa.....	171
Figura 62. Marcado de Chimenea de 1.20 x 2.40 m y 2.00 x 2.00 m de Doble Compartimiento	171
Figura 63. Desatado de Rocas en Chimeneas con barretillas de 4, 6, 8, 12 pies	172
Figura 64. Colocación de Puntales de Madera en Chimeneas por el Método Convencional	172
Figura 65. Voladura de Rocas en Condestable	173
Figura 66. Reunión Semanal con el Área de Planeamiento.....	173

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Planos	159
Anexo 2. Matriz de Consistencias	167
Anexo 3. Panel Fotográfico	169

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En la minería subterránea, la construcción de chimeneas constituye una actividad crítica para el desarrollo, preparación y explotación del yacimiento, debido a que estas labores cumplen funciones esenciales de ventilación, acceso, servicios, traspaso de mineral y comunicación entre niveles. Sin embargo, su ejecución representa también uno de los procesos más complejos desde el punto de vista técnico, operativo y de seguridad, especialmente cuando se emplean métodos convencionales que demandan mayor tiempo de ejecución, elevada exposición del personal a condiciones de riesgo y limitaciones en el avance sostenido de la labor.

En ese contexto, la construcción de chimeneas mediante sistemas tradicionales suele presentar dificultades asociadas a bajos rendimientos de avance, interrupciones operativas, mayor requerimiento de mano de obra directa, condiciones de trabajo más exigentes y riesgos vinculados a la caída de rocas, manipulación de materiales, trabajos en altura y restricciones en la estabilidad geomecánica del macizo rocoso. Estas condiciones no solo afectan la seguridad del personal, sino también impactan en los

costos de operación, en la productividad de la unidad minera y en el cumplimiento oportuno de la programación de labores subterráneas.

Frente a esta problemática, la incorporación de tecnologías especializadas como las plataformas trepadoras Alimak representa una alternativa orientada a mejorar las condiciones de construcción de chimeneas, al permitir una ejecución más mecanizada, ordenada y controlada del proceso. Este tipo de sistema facilita el ascenso progresivo de la plataforma de trabajo, optimiza las actividades de perforación, voladura, desate, sostenimiento y limpieza, y contribuye a reducir la exposición del trabajador a zonas de peligro, incrementando además la continuidad operativa y el rendimiento constructivo.

No obstante, en muchas operaciones mineras, la decisión de implementar este tipo de tecnología no siempre se encuentra respaldada por una evaluación técnica integral que permita demostrar con claridad sus ventajas en términos de seguridad, eficiencia, tiempo de ejecución y desempeño operativo respecto a métodos convencionales. En el caso de la Compañía Minera Condestable – Mina Raúl, la necesidad de optimizar la construcción de chimeneas cobra especial importancia dentro del desarrollo de labores subterráneas, ya que cualquier deficiencia en este proceso puede generar retrasos en la preparación minera, afectar la secuencia de explotación y comprometer la eficiencia global de la operación.

Por ello, se identifica como problema central la necesidad de evaluar de qué manera la implementación de plataformas trepadoras Alimak influye en la construcción de chimeneas en la Compañía Minera Condestable – Mina Raúl, considerando variables relacionadas con la seguridad operativa, el rendimiento de avance, el tiempo de ejecución y las condiciones técnicas del proceso constructivo. La ausencia de un análisis específico sobre esta implementación limita la posibilidad de sustentar

decisiones técnicas orientadas a mejorar el desarrollo vertical de las labores subterráneas y a fortalecer la gestión operativa de la unidad minera.

En tal sentido, la presente investigación se orienta a determinar el problema existente en torno a la construcción de chimeneas bajo esquemas convencionales o con bajo nivel de mecanización, y a establecer la necesidad de analizar la implementación de plataformas trepadoras Alimak como una alternativa técnicamente viable para optimizar dicho proceso en la Compañía Minera Condestable – Mina Raúl.

1.2. Delimitación de la Investigación

La delimitación de la investigación es el siguiente:

1.2.1. Delimitación espacial

El estudio se desarrollará en la Compañía Minera Condestable – Mina Raúl, específicamente en las labores subterráneas donde se ejecutan actividades de construcción de chimeneas mediante la implementación de plataformas trepadoras Alimak. La delimitación espacial comprende el área operativa vinculada al desarrollo vertical de labores mineras dentro de dicha unidad.

1.2.2. Delimitación Temporal

La investigación se circunscribe al período en el cual se evalúa la implementación y aplicación de las plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas en la unidad minera. El análisis corresponde al tiempo de estudio definido para la recolección, procesamiento e interpretación de datos relacionados con el desempeño operativo, la seguridad y la eficiencia del sistema implementado.

1.2.3. Delimitación Temática

La investigación se centra en el análisis de la implementación de plataformas trepadoras Alimak como alternativa técnica para la construcción de chimeneas en minería subterránea. En ese sentido, el estudio aborda aspectos relacionados con la

seguridad operativa, el rendimiento de avance, el tiempo de ejecución y las condiciones técnicas del proceso constructivo. No se consideran en profundidad otros métodos de explotación minera ni otros sistemas de desarrollo subterráneo que no estén directamente vinculados con la construcción de chimeneas.

1.2.4. Delimitación Metodológica

La investigación se orienta al estudio de la relación entre la implementación de plataformas trepadoras Alimak y la mejora del proceso constructivo de chimeneas, mediante el uso de técnicas de recolección y análisis de información aplicables al contexto minero. El alcance metodológico se limita a la evaluación de variables operativas y de seguridad asociadas al proceso de construcción, sin extenderse al análisis financiero integral de toda la unidad minera ni a otras áreas no relacionadas con el objeto de estudio.

1.2.5. Delimitación poblacional

La población de estudio estará conformada por los procesos, actividades, registros operativos y personal involucrado en la construcción de chimeneas en la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl, en la medida en que su participación y experiencia aporten información relevante para el desarrollo de la investigación.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas incrementa la rentabilidad y reduce los accidentes en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas incrementa la rentabilidad en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.?
- b. ¿Cómo la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas reduce los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Implementar las plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas para incrementar la rentabilidad y reducir los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la influencia de la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas para incrementar la rentabilidad en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.
- b. Determinar la influencia de la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas para reducir los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

1.5. Justificación de la Investigación

La presente investigación se justifica porque aborda una necesidad real de la minería subterránea, orientada a mejorar la construcción de chimeneas mediante la implementación de plataformas trepadoras Alimak. Su importancia se refleja en los aportes teóricos, prácticos, metodológicos, sociales y económicos que puede generar,

especialmente en relación con el incremento de la rentabilidad y la reducción de accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

1.5.1. Justificación Teórica

La presente investigación se justifica teóricamente porque permitirá ampliar y fortalecer el conocimiento relacionado con la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas en minería subterránea. Este estudio aborda dos variables de especial importancia en las operaciones mineras: la rentabilidad y los accidentes laborales, las cuales se encuentran directamente vinculadas con la eficiencia y la seguridad de los procesos constructivos. En ese sentido, la investigación contribuirá a sustentar, desde una perspectiva técnica, la importancia del uso de equipos mecanizados en labores verticales, aportando fundamentos para comprender su influencia en el mejoramiento del desempeño operativo dentro de una unidad minera subterránea.

Asimismo, el estudio permitirá consolidar conceptos relacionados con la construcción de chimeneas, la mecanización minera, la seguridad operativa y la optimización de procesos, integrándolos en un caso específico de aplicación en la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl. De esta manera, la investigación constituirá un aporte académico útil para futuras investigaciones vinculadas con métodos de desarrollo subterráneo y tecnologías aplicadas a la minería.

1.5.2. Justificación Práctica

La investigación presenta una justificación práctica porque está orientada a analizar una problemática real de la minería subterránea, relacionada con la necesidad de mejorar el proceso de construcción de chimeneas mediante la implementación de plataformas trepadoras Alimak. En la práctica, la construcción de chimeneas requiere condiciones seguras de trabajo, una adecuada secuencia operativa y un buen

rendimiento de avance, por lo que resulta necesario evaluar alternativas tecnológicas que permitan optimizar su ejecución.

En ese contexto, los resultados de la investigación servirán para determinar en qué medida la implementación de plataformas trepadoras Alimak contribuye al incremento de la rentabilidad y a la reducción de accidentes laborales en la Mina Raúl. Esto permitirá contar con información útil para la toma de decisiones técnicas y operativas en la unidad minera, así como para promover mejoras en el desarrollo de labores verticales. Por tanto, la utilidad práctica del estudio radica en que sus conclusiones podrán ser aplicadas como referencia para optimizar procesos similares en operaciones mineras subterráneas.

1.5.3. Justificación Metodológica

Desde el punto de vista metodológico, la presente investigación se justifica porque permitirá aplicar procedimientos de análisis orientados a determinar la influencia de la implementación de plataformas trepadoras Alimak sobre variables específicas como la rentabilidad y los accidentes laborales. Para ello, se establecerá una estructura de investigación que facilite la recolección, organización, procesamiento e interpretación de datos vinculados al proceso de construcción de chimeneas en la Mina Raúl.

Esta justificación metodológica también radica en que el estudio podrá servir como antecedente para futuras investigaciones que aborden temas similares dentro del campo de la Ingeniería de Minas, especialmente en aspectos relacionados con innovación tecnológica, seguridad ocupacional y mejora de procesos en minería subterránea. En consecuencia, la investigación no solo generará resultados propios, sino que también aportará una base metodológica aplicable a otros estudios del mismo campo.

1.5.4. Justificación Social

La investigación posee justificación social porque se orienta a contribuir con la mejora de las condiciones de trabajo del personal involucrado en la construcción de chimeneas dentro de la operación minera. Uno de los principales aportes esperados del estudio es la reducción de los accidentes laborales, aspecto que tiene una repercusión directa en la protección de la integridad física de los trabajadores, en la prevención de eventos de riesgo y en la promoción de ambientes laborales más seguros.

En el ámbito minero, la seguridad constituye un componente esencial no solo desde el punto de vista normativo y operativo, sino también humano y social. Por ello, toda propuesta que contribuya a disminuir la ocurrencia de accidentes y a fortalecer la cultura de prevención adquiere relevancia social. En ese sentido, la implementación de plataformas trepadoras Alimak puede representar una mejora significativa en las condiciones de ejecución de las labores verticales, beneficiando tanto a los trabajadores como a la organización, al promover una actividad minera más segura, responsable y eficiente.

1.5.5. Justificación Económica

La investigación también se justifica económicamente, ya que el incremento de la productividad y la reducción de accidentes laborales pueden generar efectos favorables en el desempeño general de la operación minera. Una mayor productividad en la construcción de chimeneas puede traducirse en un mejor aprovechamiento del tiempo, cumplimiento de la programación de labores y uso más eficiente de los recursos disponibles. Del mismo modo, la reducción de accidentes laborales contribuye a evitar paralizaciones, pérdidas de tiempo, costos asociados a incidentes y afectaciones en la continuidad de las operaciones.

Si bien la investigación no se enfoca en desarrollar un análisis financiero exhaustivo, sí permitirá evidenciar que la implementación de plataformas trepadoras Alimak puede constituir una alternativa técnicamente favorable con repercusiones económicas positivas para la unidad minera. Por ello, los hallazgos del estudio podrán ser considerados como referencia para futuras evaluaciones económicas relacionadas con la inversión en tecnologías aplicadas a labores subterráneas.

1.6. Limitaciones de la Investigación

La presente investigación presenta limitaciones relacionadas con el acceso a información técnica y operativa de carácter reservado de la empresa, así como con la disponibilidad de registros históricos completos y confiables sobre productividad y accidentes laborales. Asimismo, el estudio se limita temporalmente al período de ejecución de la investigación y espacialmente a la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A., por lo que sus resultados se circunscriben a esa realidad específica. Del mismo modo, la investigación se enfoca en analizar la influencia de la implementación de plataformas trepadoras Alimak sobre la productividad y la reducción de accidentes laborales, sin abarcar de manera integral todas las variables técnicas, económicas y operativas que intervienen en la construcción de chimeneas. Finalmente, pueden existir factores externos no controlables, propios de la operación minera subterránea, que incidan en los resultados del estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Tenemos los antecedentes internacionales y nacionales que se detalla a continuación:

2.1.1. Antecedentes internacionales

Anastasov & Eftimov (2021) en el artículo “*Innovative mining technologies with complex geomechanical characteristics*”, la investigación se centró en analizar las tecnologías mineras innovadoras aplicables a yacimientos subterráneos con condiciones geológicas, mineras, técnicas y geomecánicas complejas, con el fin de encontrar soluciones de extracción que mejoren la productividad, reduzcan pérdidas y mantengan seguridad operacional.

La metodología empleada desarrolla un análisis técnico-conceptual de alternativas de explotación para depósitos complejos. Compara variantes como Raisebor, Raisebor combinado con VCR y el sistema continuo con Alimak o KOV-25, e incluye evaluación geométrica de pérdidas y dilución según el diámetro de la cabeza de corte respecto al espesor del cuerpo mineralizado. Sobre los resultados se muestra

que la tecnología Raisebor permite trabajar en cuerpos con morfología compleja, espesores aproximados de 0.7 a 2.5 m y buzamientos de 60° a 90°, además de reducir la presencia de personal en zonas de trabajo y mejorar la seguridad. También se determinó que la relación óptima entre diámetro de corte y espesor del cuerpo mineralizado con aproximadamente 7% de contaminación y 6% de pérdidas. El sistema con Alimak o KOV-25 incrementa la productividad y reduce labores auxiliares al mantener a los trabajadores en labores prefijadas y usar mecanización hidráulica. Las conclusiones de la investigación indican que las tecnologías innovadoras presentadas son adecuadas para depósitos con condiciones complejas porque mejoran la seguridad, incrementan la productividad y reducen pérdidas y empobrecimiento. En particular, la tecnología Alimak permite recuperación con mínimas pérdidas y contaminación, mientras que la combinación VCR-Raisebor mejora la seguridad y puede reducir costos al aprovechar material estéril como relleno. El artículo subraya que la selección tecnológica debe depender de las características del yacimiento y de un adecuado dimensionamiento geomecánico.

Boudreau-Trudel et al. (2015) en el artículo “*Innovative Mining Equipment: Key Factors for Successful Implementation*”, la investigación se centró en identificar los factores clave que explican el éxito en la introducción de equipos mineros innovadores en minas subterráneas, considerando simultáneamente productividad y seguridad y salud ocupacional (OHS).

La metodología empleada aplicó una técnica de apoyo multicriterio a la decisión. Primero se utilizó un análisis multiatributo tipo AXE y luego el enfoque dominance-based rough set approach. Se analizaron 10 proyectos de innovación de equipos en una mina subterránea de Quebec. La información se obtuvo mediante entrevistas semidirigidas a 11 trabajadores y supervisores, y el desempeño se evaluó

con cuatro indicadores: costo por metro perforado, costo por hora de uso, disponibilidad y tasa de accidentes, medidos durante 12 meses. Los resultados obtenidos indican que los factores más influyentes en el desempeño general fueron la habilidad requerida para operar el equipo y la aceptación del equipo por parte de los operadores. La calidad del asiento se relacionó especialmente con la mejora de la tasa de accidentes, mientras que la estandarización del equipo nuevo respecto al anterior explicó parte de la mejora en productividad. También se observó que cuando el equipo exigía mayores cambios en la forma de trabajar, las ganancias de productividad no eran inmediatas. Las conclusiones indican que el éxito de la introducción de equipos innovadores no depende solo de la tecnología, sino de factores humanos y operacionales. Los autores concluyen que la aceptación del equipo, la facilidad de uso, la calidad ergonómica y la experiencia del operador son determinantes para lograr mejoras reales en productividad y seguridad. Estos factores deberían incorporarse en futuras decisiones de inversión y gestión del cambio tecnológico.

Fourie et al. (2017) en el artículo “*Narrow-reef mechanized mining layout at Anglo American Platinum*”, La investigación se centró en presentar y discutir el diseño de un método mecanizado para minería de vetas angostas en Anglo American Platinum, basado en equipos XLP y ULP, orientado a lograr operaciones más seguras, productivas, sostenibles y costo-efectivas.

Según la metodología empleada el artículo corresponde a un estudio técnico aplicado / caso de diseño minero, sustentado en análisis y modelamiento previos de secciones XLP, desarrollo de un nuevo layout mecanizado, y revisión de resultados de una prueba de producción XLP y del avance de la fase proof-of-concept de ULP. También se describen el ciclo minero, el layout de predesarrollo y los equipos requeridos. Sobre los resultados obtenidos, los autores reportan que el layout

mecanizado angosto, junto con equipos XLP/ULP de nueva generación, puede alcanzar más de 4000 m² mensuales por strike, superando el rendimiento histórico aproximado de 2400 m² por crew en operaciones LP. Se destaca además que el predesarrollo sobre veta mejora el conocimiento geológico, la disponibilidad de caras, la flexibilidad operativa y la reducción del riesgo productivo. Asimismo, se resalta menor dilución y mayor ley de alimentación al trabajar con anchos de explotación reducidos. Las conclusiones indican que el layout mecanizado angosto permite operaciones más seguras, productivas y sostenibles, siempre que exista adecuada planificación, disponibilidad de equipos, entrenamiento y comprensión de los principios de mecanización. El artículo concluye que la separación entre predesarrollo y stoping, junto con el uso de ULP/XLP, mejora la eficiencia global y crea valor técnico y financiero en minería tabular de veta angosta.

Arroyo (2020) en el artículo “Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicados en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S. A. A.”, La investigación se centró en analizar y evaluar comparativamente el método de explotación convencional y el método por plataformas en la cantera de caliza de UNACEM, considerando caracterización del macizo rocoso, parámetros de diseño y costos de explosivos, para determinar una alternativa más segura y eficiente.

La metodología empleada indica que se trata de una investigación comparativa. Se realizó revisión bibliográfica, caracterización geológica y geomecánica, evaluación de taludes, análisis de sondajes con Studio RM Datamine, toma de tiempos y rendimientos de perforación, voladura, tractoreo, carguío y transporte, además de simulaciones de voladura, granulometría y monitoreo de vibraciones. Sobre los resultados se determinó que ambos métodos comparten parámetros generales de diseño,

pero el método por plataformas presenta menor riesgo de caída de rocas, ya que durante el minado solo mantiene un banco activo de 10 m, mientras que el método convencional trabaja con varios bancos superpuestos. En costos unitarios totales, el método por plataformas resultó ligeramente menor: 7.6295 S/./TMS frente a 7.7561 S/./TMS del convencional. Además, el costo de explosivos para el método por plataformas fue de aproximadamente 0.33 S/./Tm, mientras que el sistema convencional para talud final alcanzó 0.65 S/./Tm por necesidad de precorte. Sobre los resultados obtenidos indican que el método por plataformas ofrece mejores condiciones de seguridad y sostenibilidad operativa que el método convencional, al reducir el riesgo geomecánico y disminuir el costo asociado al precorte. El autor concluye que la explotación por plataformas constituye una alternativa técnicamente más conveniente para la cantera analizada.

Dhookie (2016) en el artículo *“Impact of New Technologies in Hard Rock Underground Mining Taking into Account Operational Efficiencies and Production Rates”*, La investigación se centró en discutir el impacto que tendrá la incorporación de nuevas tecnologías en la minería subterránea de roca dura para mejorar niveles de producción, eficiencia operacional, seguridad y sostenibilidad.

La metodología empleada se basa en un análisis técnico y en la experiencia práctica del autor en implementación tecnológica y transformación organizacional. No presenta un experimento controlado ni una muestra estadística formal; más bien desarrolla un marco analítico sustentado en cinco áreas clave: tecnología, mecanización, personas, equipos y sostenibilidad económica. Los resultados obtenidos del estudio identifican que las mejoras reales en producción y eficiencia dependen de abordar de manera integral esas cinco áreas. Señala beneficios potenciales de la tecnología como mantenimiento predictivo, automatización, mejor toma de decisiones, reducción de tiempos muertos y mejora de la seguridad. También compara equipos de

bajo perfil versus extra/ultra bajo perfil, indicando que los equipos XLP/ULP pueden superar los 4000 m²/mes por crew, frente a alrededor de 2400 m²/mes con equipos de bajo perfil convencional. Las conclusiones indican que la adopción tecnológica en minería no puede hacerse de forma aislada. Requiere cambio cultural, aprendizaje organizacional, gestión del cambio, capacitación y una estrategia clara de transformación digital. El autor concluye que los avances en productividad y eficiencia no provendrán de mejoras marginales, sino de cambios tecnológicos escalonados y bien gestionados.

Biegaj (2018) en el artículo “*Alternative Access, Mining and Hoisting for Underground Deposits*”, la investigación se centró en proponer un sistema alternativo de acceso, minado y extracción para depósitos subterráneos, como opción frente al uso convencional de rampas o piques verticales, buscando reducir capital de desarrollo y costos operativos.

Según la metodología empleada el artículo es de carácter propositivo y técnico-conceptual. Presenta un nuevo sistema basado en raiseboring inclinado, winze sobre mineral, skip sobre neumáticos y simplificación del sistema de acarreo. Además, compara conceptualmente el sistema propuesto frente al acceso por rampa convencional, discutiendo ventajas, limitaciones, seguridad y ahorro de costos. Respecto a los resultados el autor sostiene que el sistema propuesto permitiría una mejor definición tridimensional del cuerpo mineralizado, fuerte reducción del desarrollo en desmonte, menor flota diésel subterránea y reducción de emisiones. Indica además que la relación entre toneladas de mineral y toneladas de desarrollo en desmonte podría mejorar de valores cercanos a 0.6–0.9 hasta aproximadamente 14 en ciertos casos, aunque esto se plantea como resultado esperado del concepto y no como validación experimental a gran escala. Las conclusiones del estudio demuestran que el

sistema alternativo puede representar una opción prometedora para ciertos yacimientos, especialmente cuando se busca reducir desarrollo estéril, facilitar automatización y disminuir emisiones diésel. Sin embargo, también presenta limitaciones técnicas y desafíos prácticos, como control geotécnico, diámetro del raisebore, profundidad, estabilidad y validación operativa de algunos componentes propuestos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Borja V. (2024) en la tesis de pregrado “Análisis para proyecto de chimenea de ventilación mediante equipo Alimak para una unidad minera en Huancavelica”, la investigación se centró en analizar la influencia del uso del equipo Alimak en el proyecto de construcción de chimeneas de ventilación, considerando su impacto en la eficiencia del sistema de ventilación y la productividad de las operaciones subterráneas.

La metodología empleada tiene un enfoque cuantitativo, tipo aplicada, nivel explicativo, diseño no experimental, de corte transversal, técnicas de análisis documental, observación directa, con instrumentos MS Excel, Ventsim Design 5.4 (simulación de ventilación) y MS Project, la muestra es la construcción de la chimenea Raise Climber N°3, realizada con equipo Alimak STH-5E en una unidad minera de Huancavelica (longitud 235 m, sección 3.2 m diámetro). Los resultados son: costo unitario de construcción: US\$ 1141.14 por metro lineal. Tiempo de construcción total: 121 días laborables, dispersión de gases de voladura: Reducción de 90 a 60 minutos (33% menos). Cobertura de aire: Incremento promedio de 75% a 124% en los niveles de producción. Productividad: Incremento del 21% en frentes de avance (de 3.17 a 3.83 TM/HH) y 15% en tajeos de explotación (de 1.38 a 1.58 TM/HH). Simulación Ventsim: Mejora del caudal de ingreso (131,055 cfm a 134,228 cfm) y reducción de temperatura por debajo de 29°C. Las conclusiones son las siguientes: La implementación del equipo Alimak mejora significativamente la eficiencia del sistema de ventilación y la

productividad operativa, el costo unitario se justifica por los beneficios en seguridad, tiempo y condiciones laborales, el tiempo de dispersión de gases se reduce significativamente, mejorando la seguridad.

Borja V. (2024) en la tesis de pregrado “Análisis geomecánico para la construcción del proyecto pique principal mediante el sistema Alimak y Raise Boring - Unidad Minera San Andrés – Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA – La Libertad – 2021”, La investigación se centró en determinar la influencia del análisis geomecánico del macizo rocoso en la construcción del Pique Principal mediante el sistema Alimak o Raise Boring.

La metodología empleada es el siguiente: Enfoque: Descriptivo, método analítico-sintético. Técnicas: Mapeo geomecánico (RMR89 de Bieniawski), registros de sondajes diamantinos (DDH 09-001, 728 m de longitud), ensayos de laboratorio (compresión simple, triaxial, corte directo, propiedades físicas). Software: Phase2, Unwedge, RS2 y RS3 (Rocscience) para modelamiento numérico 2D y 3D y Muestra: Eje del Proyecto Pique Principal MARSA (longitud 750 m, niveles 3220 a 2470). Los resultados son los siguientes: Clasificación geomecánica: Roca Tipo III (Regular, 45.1%) y Tipo IV (Mala, 54.2%). Sistemas de discontinuidades: 3 familias principales de fallas y diaclasas. Estabilidad: La geometría cuadrada/rectangular es inestable ($F.S. < 1.1$); la circular es más estable. Con sostenimiento adecuado (pernos helicoidales cementados + shotcrete), se logra $F.S. > 1.2 - 1.5$. Sostenimiento recomendado: Para roca tipo IV-B (RMR 25), pernos helicoidales de 1.5 m espaciados a 1 m + shotcrete de 4". Instrumentación: Se recomienda implementar un plan de monitoreo de convergencias. Las conclusiones del estudio son: El análisis geomecánico es indispensable para determinar la viabilidad del sistema Alimak o Raise Boring, La

sección circular es la más estable para chimeneas/piques, el sostenimiento debe ser diseñado según el dominio geomecánico identificado.

Herrera H. (2023) en la tesis de pregrado: “Optimización del ciclo de producción de chimeneas con equipo Alimak”, la investigación se centró en mejorar el ciclo de avance de las chimeneas con equipo Alimak mediante la optimización de los tiempos de ejecución y el cumplimiento de la producción de la mina.

La metodología empleada tiene Enfoque: Cuantitativo, tipo aplicada, nivel descriptivo-explicativo. Diseño: Experimental/Semi experimental. Técnicas: Observación directa, entrevistas no estructuradas, análisis documental. Instrumentos: Listas de cotejo, MS Excel, AutoCAD. Muestra: Unidad Minera Contonga – Empresa Minera Los Quenuales S.A. (sección de chimenea 2.5 x 2.5 m, longitud 50 m). Los resultados son costo unitario (Alimak): US\$ 423.91 por metro lineal (sección 2.5 x 2.5 m). Costo unitario (convencional): \$382.65 por metro lineal (sección 1.2 x 2.4 m). Tiempo de ejecución (Alimak): 14 días (44% menos que el convencional, que toma 25 días). Avance por disparo: 2.08 m (Alimak) vs. 1.14 m (convencional). Velocidad de ascenso: 18 m/min. Las conclusiones indican que el método Alimak es el más adecuado para chimeneas de gran longitud, aunque su costo por metro sea ligeramente superior al convencional (11% más), porque reduce el tiempo de ejecución en más del 40%, además el sistema convencional es de riesgo alto; el Alimak es de riesgo medio.

Torre V. (2023) en la tesis de pregrado “Mejora del circuito de ventilación con la ejecución del proyecto CH RC 200 utilizando el equipo Alimak STH – 5E en CIA Minera Kolpa S.A. 2022”, la investigación se centró en mejorar el circuito de ventilación con la ejecución del proyecto CH RC 200 utilizando el equipo Alimak STH – 5E.

La metodología empleada es el siguiente: Enfoque: Científico-analítico, tipo aplicada, nivel descriptivo. Diseño: Transaccional correlacional causal. Técnicas: Medición de aforo de aire, balance de aire, monitoreo de agentes químicos, evaluación geomecánica (RMR, GSI, Phase2). Software: Ventsim Visual (versión 5.04) para simulación de ventilación, Phase2 para modelamiento de estabilidad. Muestra: Proyecto CH RC 200 (longitud 245 m, sección 3x3 m, inclinación 89°), nivel 4518, U.E.A. Huachocolpa. Los resultados son los siguientes. Caudal de ingreso inicial: 376,717 CFM. Requerimiento total: 444,526 CFM (cobertura 96%). Caudal de ingreso después de CH RC 200: 525,965 CFM (cobertura 118%, superávit de 81,439 CFM). Ventilador extractor instalado: 150,000 CFM en la cabeza de la CH RC 200. Calidad de roca: Tipo III-A (RMR 51-60) y III-B (RMR 41-50) con presencia de fallas locales. Factor de seguridad: > 1.2 con sostenimiento sistemático (split set de 5' + malla electrosoldada). Análisis de precios unitarios: Desglose detallado para tramos 0-100 m y 101-200 m. Las conclusiones son los siguientes: la ejecución de la chimenea Alimak mejoró significativamente el circuito de ventilación, permitiendo incrementar equipos y personal en la zona sur de la mina, las condiciones de estabilidad de la CH RC 200 están limitadas por fallas locales con buzamiento paralelo a la inclinación de la chimenea (79°), El sostenimiento sistemático con split set y malla garantiza F.S. > 1.2 .

Ventura Flores (2025) en la tesis de pregrado titulado “Diseño y evaluación de chimeneas Alimak para sistemas de ventilación industrial en la mina”, La investigación se centró en diseñar un proyecto de ejecución de una chimenea Alimak eficiente y segura para sistemas de ventilación industrial, considerando aspectos técnicos y estructurales.

La metodología empleada se detalla a continuación, Enfoque: Aplicada, nivel descriptivo-analítico. Diseño: No experimental. Técnicas: Análisis documental,

observación de campo. Muestra: Chimenea CH-720 (longitud 270 m, sección 2.0 x 2.0 m, inclinación 90°), Empresa Minera AGROMIN La Bonita S.A.C. (Arequipa). Los resultados de la investigación son los siguientes: Costo unitario (Alimak): US\$790.72 por metro lineal. Costo total del proyecto (CH-720): US\$ 213,494.4 (excavación) + \$33,471 (sostenimiento reforzado) = US \$246,965 aproximadamente. Tiempo de ejecución: 78 días (excavación) + 11 días (traslado/montaje) + 15 días (sostenimiento reforzado) = 3.5 meses total. Q de Barton: 15; RMR: valor no especificado numéricamente, pero se utilizó para diseño. Malla de perforación: 38 taladros, 24.62 kg de explosivo/disparo. Indicadores económicos: VAN = \$45,409,279; TIR = 3,028%; relación B/C = 3.75; Payback = 0.03 años (11 días). Flujo de aire estimado: 30,000 – 40,000 CFM para la sección 2.0 x 2.0 m.

Las conclusiones del estudio son los siguientes: La chimenea CH-720 es rentable con una relación beneficio/costo de 3.75. La sección cuadrada (2.0 x 2.0 m) es adecuada y adaptable para usos futuros. Se recomienda evaluar secciones circulares para mejor flujo de aire.

Camargo D. & Segura G. (2023) en la tesis de pregrado: Desarrollo de una chimenea de ventilación en una mina ubicada al centro del Perú aplicando el sistema Raise Boring, la tesis se centró en desarrollar la ejecución de una chimenea de ventilación utilizando el sistema de perforación Raise Boring, evaluando la factibilidad operativa, técnica y económica.

La metodología del estudio es el siguiente: Enfoque: Aplicada, diseño experimental, niveles descriptivo-correlacional-explicativo. Técnicas: Medición de parámetros operativos del ciclo del proyecto, medición de ventilación antes/después, análisis comparativo técnico-económico. Muestra: Proyecto CM RB 650 Nv. 18 – VETAS (diámetro 1.5 m, longitud 112.7 m, inclinación 85°44'), Unidad Minera

Americana – Mina Alpayana S.A. Los resultados son los siguientes: Tiempo de ejecución (Raise Boring): 15 días (vs. 35 días del sistema convencional). Costo total (Raise Boring): US\$147,637 (vs. \$143,075 del sistema convencional, sin considerar chimeneas mellizas). Productividad: Raise Boring: 7.5 m/día; Convencional: 3.2 m/día (57% más eficiente). Mejora de ventilación: Caudal aumentó de 9,607 CFM a 31,522 CFM (cobertura del 100% del requerimiento). Análisis técnico comparativo: Se descartaron los sistemas Alimak (sección mínima 2x2 m) y VCR (longitud máxima 60 m) para este caso específico (Ø 1.5 m).

Las conclusiones son las siguientes: Raise Boring es un sistema más seguro y eficiente que el convencional para chimeneas de Ø 1.5 m y longitudes > 80 m. Aunque el costo es ligeramente superior al convencional, la reducción del tiempo de ejecución (20 días menos) y la mejora en seguridad justifican su uso. La chimenea RB 650 mejoró significativamente las condiciones de ventilación en el Nv. 20, cumpliendo con la normativa.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Definición y Clasificación de Chimeneas

Las chimeneas son labores mineras verticales o inclinadas que conectan dos niveles diferentes de una mina subterránea. Su objetivo principal es facilitar la ventilación, el transporte de mineral, el paso de personal y la instalación de servicios auxiliares (Vílchez & Vílchez, 2015).

Tabla 1. *Clasificación de Chimeneas Según su Geometría y Función*

Criterio de clasificación	Tipo	Características
Por su forma	Rectangular	Sección típica 1.2 x 2.4 m (doble compartimiento)
	Cuadrada	Secciones desde 1.5 x 1.5 m hasta 3.0 x 3.0 m
	Circular	Mayor estabilidad geomecánica, Ø 1.5 – 3.2 m
Por su longitud	Corta	< 50 m (apta para método convencional)
	Larga	50 – 100 m
	Gran longitud	> 100 m (requiere método mecanizado Alimak o Raise Boring)
Por su función	Ventilación	Evacuación de aire viciado o ingreso de aire fresco
	Echadero (ore pass)	Paso de mineral por gravedad
	Servicio	Paso de tuberías, cables, personal

Nota. Los datos de la tabla Tabla 1 ha sido tomado de Herrera H. (2023).

2.2.2. Método Convencional de Construcción de Chimeneas

El método convencional se caracteriza por el uso de puntales de madera como plataforma de trabajo y máquinas perforadoras tipo **Stoper** para la perforación del frente. La longitud máxima recomendada es de 50 m debido a limitaciones de seguridad y rendimiento.

Características Técnicas del Método Convencional

Las características son los siguientes:

- Perforadora: Stoper neumático
- Barrenos: 4 a 6 pies de longitud
- Brocas: 38 – 40 mm de diámetro
- Plataforma: Tablones de madera sobre puntales
- Sostenimiento: Puntales, cuadros de madera o pernos puntuales
- Ventilación: Tercera línea con manguera de 1".

Tabla 2. *Rendimientos Típicos del Método Convencional*

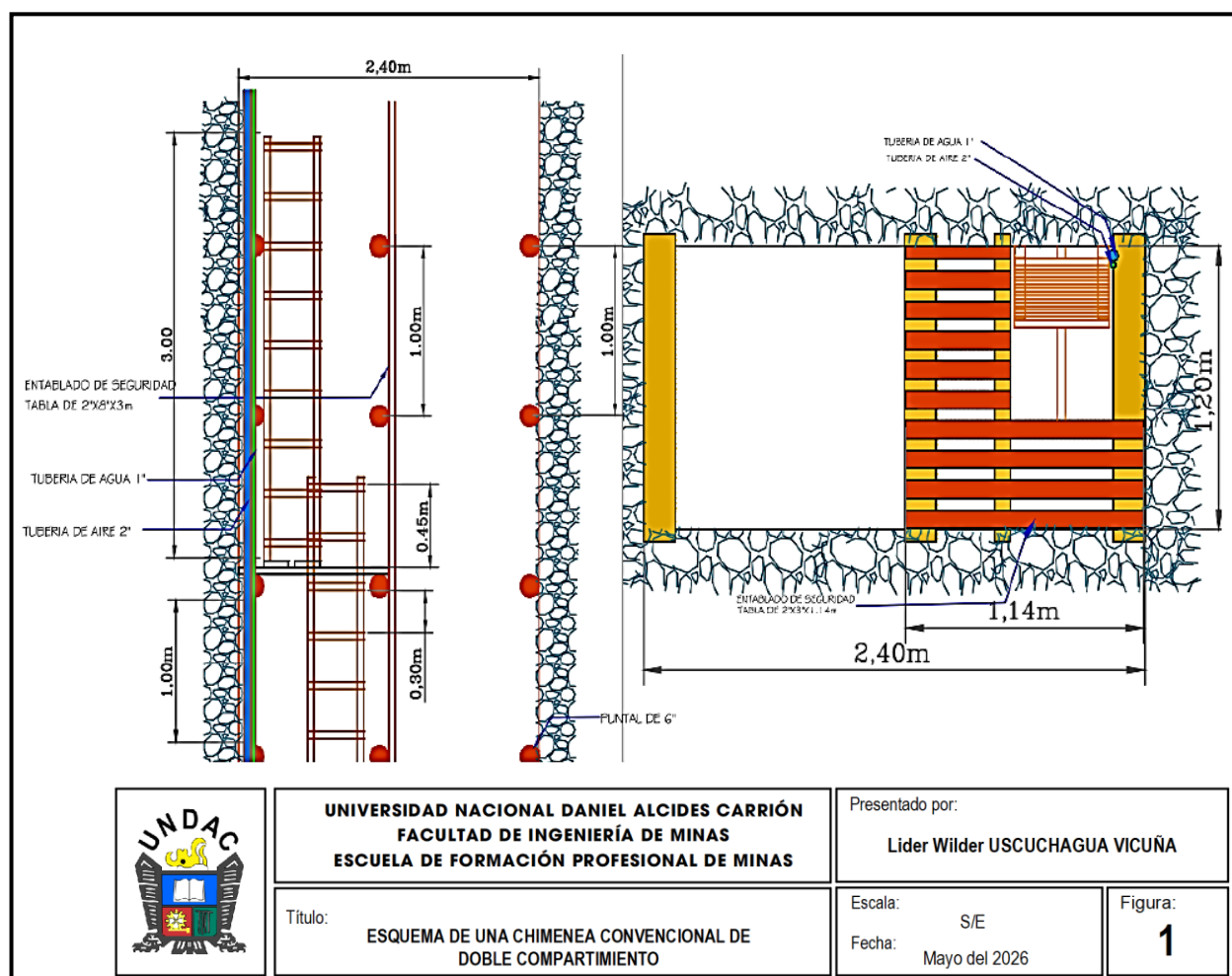
Parámetro	Valor	Unidad
Longitud de barra	1.20 – 1.80	m
Avance por disparo	1.14 – 1.20	m
Eficiencia de voladura	90 – 95	%
N° de taladros	20 – 25	tal/disparo
Factor de carga	1.30 – 1.80	kg/m ³
Tiempo de ciclo	6 – 9	horas

Nota. Los datos de la Tabla 2 han sido tomados de Herrera H. (2023).

Limitaciones del Método Convencional

Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (DS N° 024-2016-EM, modificado por DS N° 023-2017-EM), las chimeneas convencionales que superen los 20 m de longitud deben contar con dos compartimientos independientes: uno para tránsito de personal y otro como echadero. Para longitudes mayores a 50 m, el método resulta antieconómico y de bajo rendimiento (Ministerio de Energía y Minas [MEM], 2017).

Figura 1. Esquema de una Chimenea Convencional de Doble Compartimiento



Nota. La Figura 1 ha sido adaptado de Herrera H. (2023).

2.2.3. Sistema Mecanizado con Plataforma Trepadora Alimak

Historia y evolución del equipo Alimak

La plataforma trepadora Alimak fue introducida al mercado en 1957 por la empresa sueca Alimak AB. Desde entonces, se ha convertido en el estándar mundial para la construcción de chimeneas en minería subterránea y proyectos hidroeléctricos (Ventura Flores, 2025).

Componentes del Equipo Alimak STH-5E

El modelo STH-5E es una plataforma trepadora de propulsión eléctrica, ampliamente utilizada en minería subterránea peruana. Sus componentes principales se describen a continuación.

Tabla 3. *Componentes de la Plataforma Trepadora Alimak*

Id	Componentes y sus designaciones.
1	Unidades propulsoras.
2	Instalación de la trepadora en el carril guía.
3	Sistema de aire STH - 5L.
4	Instalación del techo protector de la operación neumática.
5	Ensamblado bajo techo de poca altura.
6	Instalación de los motores Diesel, hidráulico o eléctrico.
7	Palanca de freno para STH - 5EE y STH - 5DD.
8	Mando de operaciones de la STH - 5D / DD.
9	Diagramas de conjunto para conexión de aire, agua y electricidad.
10	Instalación de la central múltiple de aire y agua.
11	Instalación de la bomba de alta presión.
12	Instalación del tambor para cable.
13	Instalación del equipo eléctrico para STH-5E / EE.
14	Instalación del equipo eléctrico en la jaula STH-5E / EE.
15	Fijación del cable eléctrico STH-5E / EE.
16	Instalación del equipo de comunicación.

Nota. La Tabla 3 ha sido obtenido de Herrera H. (2023).

Tabla 4. *Especificaciones Técnicas del Equipo Alimak Modelo STH-5E*

Nº	Característica	Valor	Unidad
1	Área aproximada de chimenea vertical	7	m ²
2	Área máxima inclinada a 45°	10	m ²
3	Altura máxima de excavación	400	m
4	Longitud máxima de excavación	900	m
5	Velocidad ascendente (50 ciclos)	0.3 (18)	m/s (m/min)
6	Velocidad ascendente (60 ciclos)	0.36 (21.6)	m/s (m/min)
7	Velocidad de descenso por gravedad	0.4 – 0.5 (25-30)	m/s (m/min)
8	Capacidad del motor	7.5	kW
9	Cable eléctrico especial	3×10 + 3×1.5 + 2	–

Nota. Los datos de la Tabla 4 ha sido obtenido de Herrera H. (2023).

Ciclo operativo del Sistema Alimak

El ciclo de operación con plataforma Alimak consta de **cuatro fases principales**, las cuales se repiten por cada disparo.

Tabla 5. *Tiempos del Ciclo Operativo con Equipo Alimak*

Actividad	Tiempo mínimo (min)	Tiempo máximo (min)	Observaciones
Ventilación de cámara	15	20	Posterior a la voladura
Limpieza y carga de herramientas	15	30	Sobre la plataforma
Encendido de motor	5	10	–
Subida con Alimak	12	16	Depende de la longitud
Desatado de rocas sueltas	10	25	Con barretilla
Anclado de carril	40	60	Instalación de rieles
Sostenimiento con Split Set	45	60	Según geomecánica
Perforación de taladros	170	240	35 – 45 taladros
Bajada con Alimak	10	15	Por gravedad
Subida con explosivos	12	16	Carga controlada
Carguío de explosivos	40	60	Incluye acceso
Bajada final	10	15	Antes del chispeo
Chispeo	2	5	–
Tiempo total de ciclo	386	572	≈ 6.5 – 9.5 horas

Nota. Los datos de la Tabla 5 han sido obtenidos de Herrera H. (2023).

2.2.4. Fundamentos de Ventilación

La ventilación en minería subterránea tiene como objetivo proporcionar oxígeno suficiente, diluir y eliminar gases contaminantes, y controlar la temperatura en los ambientes de trabajo. Según el MEM (2017), la concentración de oxígeno no debe ser inferior al 19.5% en ninguna labor subterránea.

Tabla 6. *Composición del Aire Seco en Condiciones Normales*

Componente	% en volumen	% en peso
Nitrógeno (N ₂)	78.09	75.53
Oxígeno (O ₂)	20.95	23.14
Anhídrido carbónico (CO ₂)	0.03	0.046
Argón y otros gases	0.93	1.284

Nota. Los datos de la tabla han sido obtenido de Tejeda R. & Mucha G. (2022).

Gases Contaminantes en Minería

Tabla 7. *Características y Límites Permisibles de Gases en Minería*

Gas	Fórmula	Gravedad específica	Límite máximo permisible (ppm)	Efecto principal
Monóxido de carbono	CO	0.967	25 (8h) / 20 (10h)	Asfixia química
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	1.19	10 (8h) / 8 (10h)	Tóxico, olor a huevos podridos
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	1.54	3 (8h) / 2.4 (10h)	Irritante pulmonar
Anhídrido sulfuroso	SO ₂	2.2	1.6 (8h) / 4 (10h)	Irritante
Dióxido de carbono	CO ₂	1.529	4000 (8h) / 7200 (10h)	Asfixiante
Metano	CH ₄	0.555	–	Explosivo (5-15%)

Nota. Los datos de la tabla han sido obtenido de Tejeda R. & Mucha G. (2022).

Tabla 8. *Requerimiento de Caudal por Trabajador Según Altitud*

Altitud (msnm)	Caudal mínimo por persona (m ³ /min)
< 1500	3
1500 – 3000	4.2
3000 – 4000	5.1
> 4000	6

Nota. MEM (2017).

2.2.5. Fundamentos de Mecánica de Rocas

Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski)

El RMR (Rock Mass Rating) es el sistema de clasificación más utilizado para caracterizar macizos rocosos en proyectos mineros. Fue desarrollado por Bieniawski en 1973 y modificado en 1989 (Bieniawski, 1989).

Tabla 9. *Clasificación RMR de Bieniawski (1989) Adaptada*

Clase	Rango RMR	Calidad de la roca	Tiempo de auto-soporte	Cohesión (MPa)	Ángulo de fricción (°)
I	81 – 100	Muy buena	10 años para 5 m de luz	> 4	> 45
II	61 – 80	Buena	6 meses para 4 m de luz	3 – 4	35 – 45
III	41 – 60	Regular	1 semana para 3 m de luz	2 – 3	25 – 35
IV	21 – 40	Mala	10 horas para 2 m de luz	1 – 2	15 – 25
V	0 – 20	Muy mala	30 minutos para 1 m de luz	< 1	< 15

Nota. Los datos de la Tabla 9 ha sido tomado de Bieniawski (1988).

2.2.6. Índice de Calidad de la Roca (RQD)

El RQD (Rock Quality Designation) es un índice cuantitativo que mide el grado de fracturamiento del macizo rocoso a partir de testigos de perforación diamantina (Deere & Deere, 1967).

$$RQD = \frac{\text{Suma de longitudes de testigos} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Longitud total de perforación}} \times 100 \quad \dots (1)$$

Tabla 10. *Clasificación de la Calidad de Roca Según RQD*

RQD (%)	Calidad de roca
90 – 100	Excelente
75 – 90	Buena
50 – 75	Regular
25 – 50	Pobre
< 25	Muy pobre

Nota. Los datos de la Tabla 10 ha sido obtenido de Deere & Deere (1989).

Sostenimiento en Chimeneas Alimak

El tipo de sostenimiento en una chimenea construida con equipo Alimak depende de la clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR). A continuación, se presentan las recomendaciones estándar.

Tabla 11. *Sostenimiento Según Tipo de Roca Para Chimeneas Alimak*

Tipo de roca	RMR	Sostenimiento recomendado	Espaciamiento
II (Buena)	61 – 80	Sin sostenimiento o sostenimiento puntual	–
III-A (Regular A)	51 – 60	Pernos Split Set de 5' + malla electrosoldada (ocasional)	1.2 x 1.2 m
III-B (Regular B)	41 – 50	Pernos helicoidales de 5' + malla electrosoldada	1.0 x 1.0 m
IV-A (Mala A)	31 – 40	Pernos + malla + shotcrete de 2"	1.0 x 1.0 m
IV-B (Mala B)	21 – 30	Cimbras metálicas H6 + shotcrete de 3-4"	0.8 – 1.0 m
V (Muy mala)	< 21	Cimbras metálicas + shotcrete + pernos de anclaje	0.6 – 0.8 m

Nota. Los datos de la Tabla 11 ha sido tomado de Ventura F. (2025)

2.2.7. Comparación entre Métodos de Construcción de Chimeneas

Tabla 12. *Comparación del Convencional Vs. Alimak Vs. Raise Boring*

Parámetro	Convencional	Alimak (STH-5E)	Raise Boring
Seguridad	Sistema menos seguro	Sistema más seguro (techo protector)	Sistema más seguro (operación remota)
Sección mínima	1.2 x 2.4 m (doble compartimiento)	2.0 x 2.0 m	Ø 1.5 m
Longitud máxima	50 m (mayor requiere melliza)	> 400 m	> 600 m
Avance (m/día)	2 – 3	4 – 6	6 – 15 (depende de roca)
Uso de explosivos	Sí (alto consumo)	Sí (regular)	No
Exposición del personal	Alta	Media	Baja (solo mantenimiento)
Costo unitario (US\$/m)	380 – 400	720 – 1,150	1,300 – 2,600
Tiempo de ejecución (100 m)	25 – 35 días	14 – 18 días	8 – 12 días

Nota. El contenido de la Tabla 12 ha sido obtenido de Herrera H. (2023)

2.2.8. Ventajas y Limitaciones del Sistema Alimak

Ventajas

Según Herrera H. (2023), las principales ventajas del sistema Alimak son:

1. **Seguridad:** El personal trabaja bajo un techo protector, reduciendo el riesgo de caída de rocas.
2. **Rapidez:** El avance por disparo puede alcanzar hasta 2.5 m con eficiencias de voladura > 90%.
3. **Versatilidad:** Permite construir chimeneas de diferentes secciones (rectangular, cuadrada, circular) y orientaciones (45° a 90°).
4. **Recuperabilidad:** Los carriles y componentes pueden desmontarse y reutilizarse en proyectos posteriores.
5. **Reducción de tiempos:** En chimeneas de 50 m, el Alimak es un 44% más rápido que el método convencional Herrera H. (2023).

Limitaciones

1. **Sección mínima:** Requiere una sección mínima de 2.0 x 2.0 m, lo que lo hace inadecuado para chimeneas de pequeño diámetro (< 1.5 m).
2. **Calidad de roca:** Se recomienda un RMR mínimo de 50 y RQD > 60% para garantizar la estabilidad del anclaje de carriles.
3. **Costo inicial:** El costo unitario es superior al del método convencional (10-30% más), aunque se justifica por la reducción de tiempos.
4. **Personal calificado:** Requiere operadores y personal de mantenimiento con entrenamiento especializado.

2.2.9. Normativa Aplicable en Perú

Tabla 13. Normas Peruanas Aplicables a la Construcción de Chimeneas

Norma	Título	Aspecto relevante
DS N° 024-2016-EM	Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería	Artículos 234-243 (perforación y voladura); Artículos 129-136 (trabajos de alto riesgo)
DS N° 023-2017-EM	Modificatoria del DS 024-2016-EM	Actualización de límites máximos permisibles y requisitos de ventilación
Ley N° 29783	Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo	Obligaciones del empleador en prevención de riesgos laborales
R.S. N° 026-2017-MEM-DM	Modificatoria del Reglamento de Seguridad	Incorporación de nuevos estándares para chimeneas

Nota. La información de la Tabla 13 ha sido obtenido del MEM.

2.2.10. Compañía Minera Condestable S.A.

La Unidad Minera Acumulación Condestable (UMAC) se ha consolidado como un activo emblemático de la minería de cobre en la costa central del Perú, representando un modelo de integración operativa y resiliencia técnica en el sector de la mediana minería. Operada por la Compañía Minera Condestable S.A. (CMC), esta unidad es el resultado de la unificación estratégica de dos minas históricas, Raúl y Condestable, las cuales operaron de manera independiente hasta que las dinámicas del mercado y la continuidad de sus yacimientos forzaron una integración legal y operativa definitiva en el año 2013 (Vera, 2024).

El complejo minero se fundamenta en un yacimiento de tipo óxido de hierro-cobre-oro (IOCG, por sus siglas en inglés), cuya génesis y características estructurales

han permitido una explotación sostenida durante más de seis décadas. A diferencia de otros depósitos de cobre en los Andes, Condestable se distingue por su ubicación a baja altitud y su cercanía a la infraestructura vial más importante del país, lo que le otorga ventajas logísticas competitivas inigualables en términos de costos de transporte y accesibilidad para el personal (Ingenieros, 2012).

La evolución de la Compañía Minera Condestable S.A. refleja las transformaciones del marco legal y económico del Perú. Desde su fundación en 1962, pasando por su privatización pionera en 1992, hasta su reciente adquisición por el grupo canadiense Rio2 Limited en enero de 2026, la empresa ha demostrado una capacidad constante de modernización. Esta trayectoria no solo se limita a la extracción de mineral, sino que abarca un compromiso con estándares internacionales de sostenibilidad, siendo la primera mina subterránea del mundo en obtener la certificación *The Copper Mark* (Vera, 2023).

2.2.11. Ubicación y Accesibilidad

La Unidad Minera Acumulación Condestable se localiza en el departamento de Lima, específicamente en el paraje de Bujama Alta, perteneciente al distrito de Mala, provincia de Cañete. Geográficamente, el centro de operaciones se sitúa en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, en una zona de transición entre el desierto costero y las primeras estribaciones andinas (Ingenieros, 2012).

Ubicación

La unidad opera sobre la concesión denominada "Acumulación Condestable", la cual posee una extensión superficial que ha evolucionado de las 40,524 hectáreas iniciales a aproximadamente 45,868 hectáreas reportadas en el año 2024. La ubicación exacta de los componentes principales, como la bocamina, la planta concentradora y los depósitos de relaves, se define bajo el sistema de coordenadas Universal Transversal

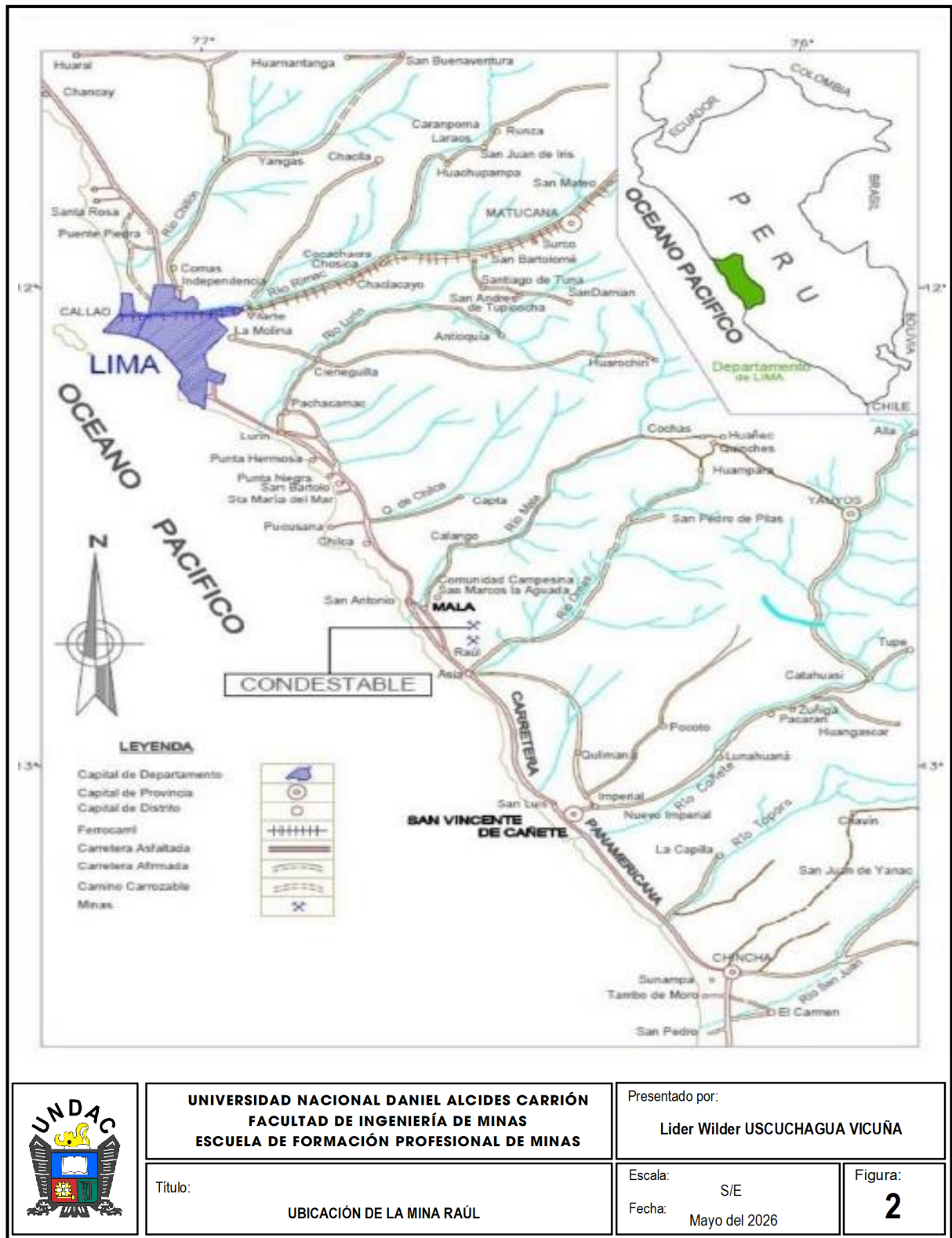
de Mercator (UTM), utilizando el datum PSAD 56 y el Sistema Geodésico WGS 84 (Zona 18S) para sus reportes actuales (Vera, 2024).

Tabla 14. *Ubicación de la Mina Raúl*

Parámetro Geográfico	Detalle Técnico
Distrito	Mala
Provincia	Cañete
Departamento	Lima
Altitud Promedio	450 msnm (rango 100 - 600 msnm)
Datum de Referencia	PSAD 56 / WGS 84 (Zona 18S)
Área de Concesión Total	45,868 ha
Ubicación Estratégica	90 km al Sur de Lima

Nota. Los datos han sido tomados de Ingenieros (2012).

Figura 2. Ubicación de la Mina Raúl



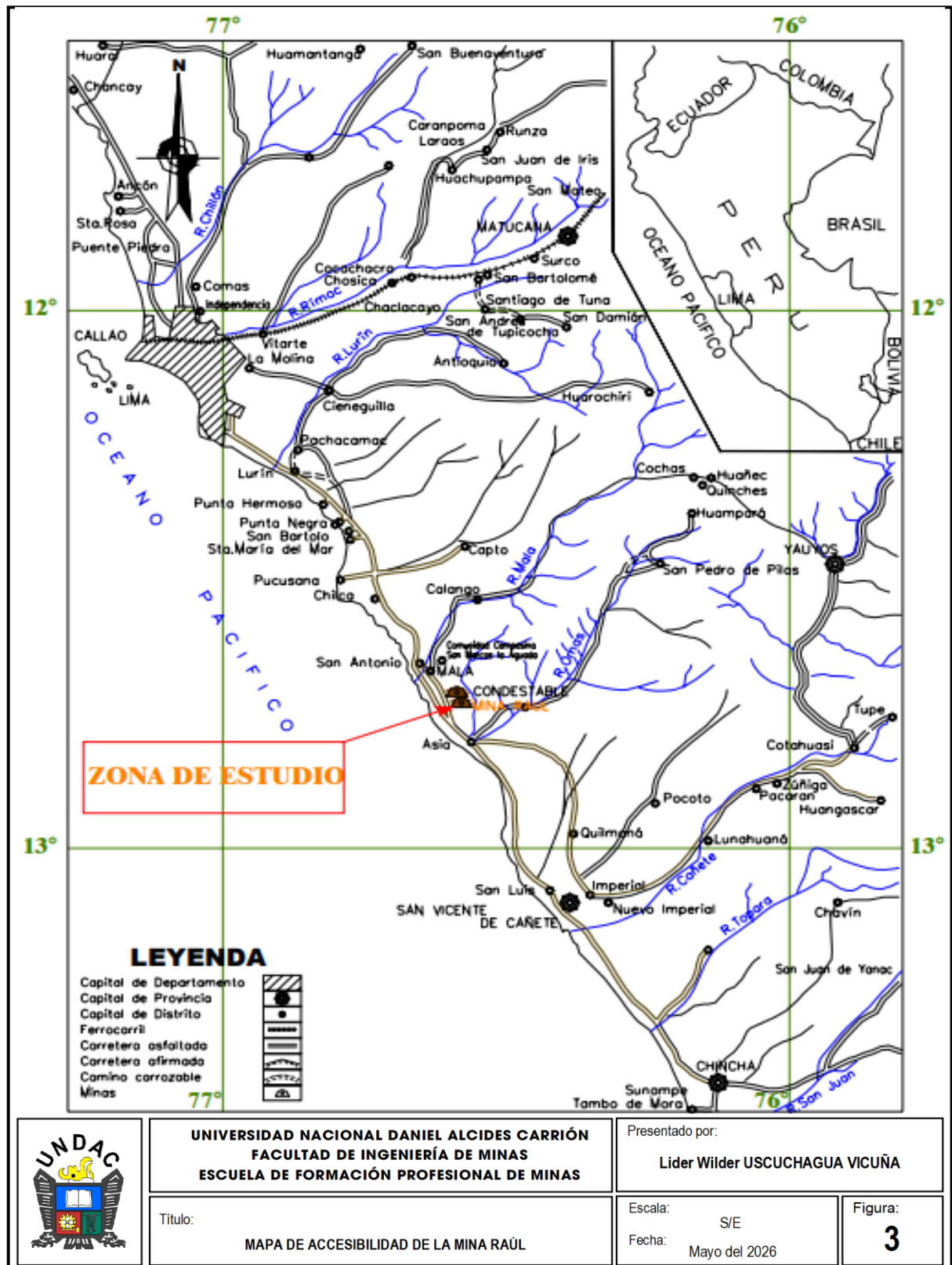
Nota. La Figura 2 ha sido obtenido de Villanueva Ch. (2023).

Accesibilidad

La accesibilidad de Condestable es considerada una de las mejores de la industria minera peruana. El transporte de suministros pesados, maquinaria y el despacho de concentrados de cobre se ve facilitado por la cercanía a la Red Vial Nacional. El acceso principal se realiza a través de la carretera Panamericana Sur, recorriendo el tramo Lima-Mala hasta el kilómetro 89.5 (Ingenieros, 2012).

Desde este punto crítico de la carretera nacional, se toma un desvío afirmado y señalizado hacia el Este de aproximadamente 3.0 kilómetros de longitud, el cual conduce directamente al complejo industrial y administrativo de la mina. Esta proximidad a Lima permite que la operación no requiera sistemas logísticos complejos de puentes aéreos o rutas de acceso en alta montaña, lo que reduce significativamente la huella de carbono asociada al transporte y facilita la implementación de turnos de trabajo que permiten al personal retornar a sus hogares con mayor frecuencia que en las minas de la sierra central o sur (Ingenieros, 2012).

Figura 3. Mapa de Accesibilidad de la Mina Raúl



Nota. La Figura 3 ha sido obtenido de Córdova R. (2008).

2.2.12. Reseña Histórica y Evolución Corporativa

La historia de la Mina Raúl-Condestable es un testimonio de la evolución tecnológica y económica de la minería subterránea en el Perú. La empresa fue incorporada formalmente el 16 de noviembre de 1962, marcando el inicio de una fase de exploración y desarrollo sistemático en el yacimiento (Vera, 2023).

Etapas de Crecimiento y Privatización

Durante sus primeros treinta años, la mina operó bajo una escala modesta pero constante. Un hito fundamental ocurrió en 1978, cuando se inició la extracción de mineral mediante un tajo abierto en la zona de Condestable, labor que se extendió hasta diciembre de 1997 y que complementó la producción subterránea histórica. En 1986, la planta concentradora alcanzó una capacidad de tratamiento de 1,350 TMD (Ingenieros, 2012).

En el contexto de las reformas económicas de la década de 1990, la Compañía Minera Condestable se convirtió en la primera empresa minera de titularidad estatal en ser transferida al sector privado, hecho que tuvo lugar el 26 de mayo de 1992. Esta privatización atrajo capitales extranjeros, inicialmente con el ingreso del grupo Trafigura Beheer B.V. en 1997 mediante una OPA, adquiriendo el 30.6% de las acciones. En ese mismo año, se sumó la participación de LG Metals de Corea (hoy LSIS), facilitando financiamiento para programas de exploración intensivos (Ingenieros, 2012).

Crisis de Precios e Integración con Mina Raúl

En 1998, el sector minero global enfrentó una crisis de precios del cobre, lo que llevó a la paralización temporal de las operaciones de Condestable el 31 de enero de ese año por falta de reservas económicas. Sin embargo, la gerencia identificó una

oportunidad estratégica en la colindante mina Raúl, propiedad de la Compañía Minera Pativilca, la cual también había cesado operaciones (Ingenieros, 2012).

En octubre de 1998, se firmó un contrato de cesión minera que permitió a Condestable rehabilitar la mina Raúl e integrar ambos yacimientos bajo un solo plan de minado. Este movimiento no solo salvó la operación, sino que expandió significativamente su potencial geológico. En marzo de 1999, se reiniciaron formalmente las operaciones integradas, logrando leyes de cabeza de 1.31% de \$Cu\$. Finalmente, en 2013, ambas unidades se consolidaron legalmente en la "Acumulación Condestable" bajo la administración de Southern Peaks Mining (SPM) (Vera, 2024).

Adquisición por Rio2 Limited (2026)

A finales de 2025, se anunció un acuerdo definitivo para que Rio2 Limited adquiriera el 99.1% de la mina por una contraprestación total de 217 millones de dólares estadounidenses (valor de empresa de 241 millones). La transacción se cerró exitosamente el 30 de enero de 2026, marcando una nueva era para Condestable como parte de un grupo minero canadiense enfocado en la diversificación de metales preciosos y base en América Latina (Vera, 2024).

Tabla 15. Hitos Históricos de la Mina Raúl

Periodo	Propietario/Operador Principal	Hito Operativo
1962 - 1992	Estado Peruano/Inversionistas locales	Fundación y consolidación inicial.
1992 - 1997	Post-Privatización	Expansión de planta a 1,500 TMD.
1997 - 2013	Trafigura/LSIS	Integración de Mina Raúl y superación de crisis de precios.
2013 - 2025	Southern Peaks Mining (SPM)	Obtención de <i>The Copper Mark</i> y expansión a 8,400 TMD.
2026 - Presente	Rio2 Limited	Adquisición estratégica y planes de expansión a 12,000 TMD.

Nota. Los datos de la Tabla 15 han sido obtenidos de Vera (2024).

2.2.13. Geología Regional

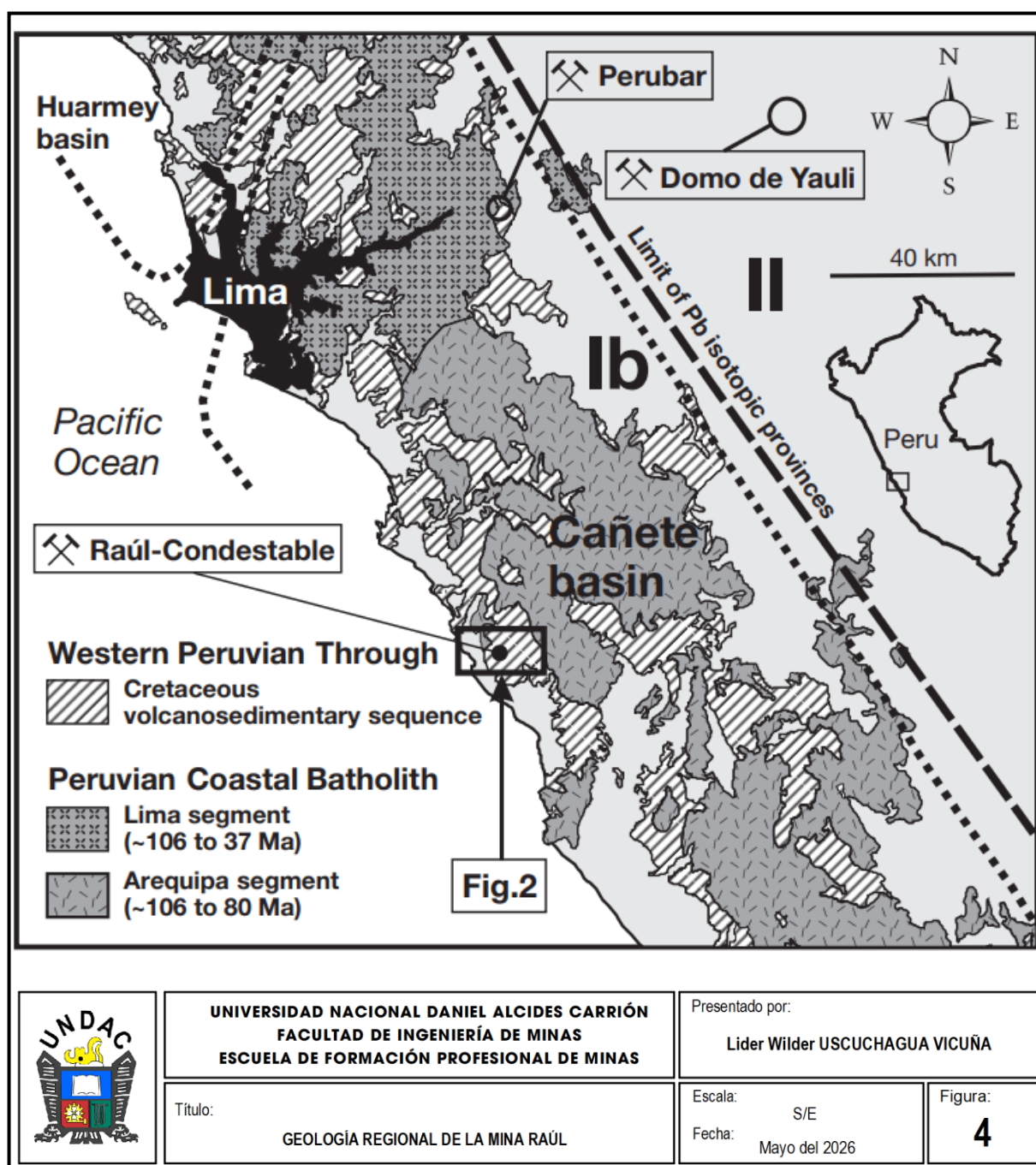
La Unidad Minera Condestable se inserta en una de las provincias metalogenéticas más importantes del Perú: la franja de depósitos de óxido de hierro-cobre-oro (IOCG) del Jurásico Superior al Cretácico Inferior, que se extiende a lo largo del margen costero occidental (Ccallo et al., 2013).

El Surco Peruano Occidental y el Grupo Casma

Regionalmente, el yacimiento se ubica en la cuenca de Cañete, una sub-unidad del "Surco Peruano Occidental" caracterizada por una potente secuencia volcano-sedimentaria. Esta secuencia, denominada formalmente Grupo Casma, representa un arco magmático desarrollado en un entorno de cuenca de trasarco marginal que sufrió procesos de extensión y posterior compresión (Haller & Fontboté, 2006).

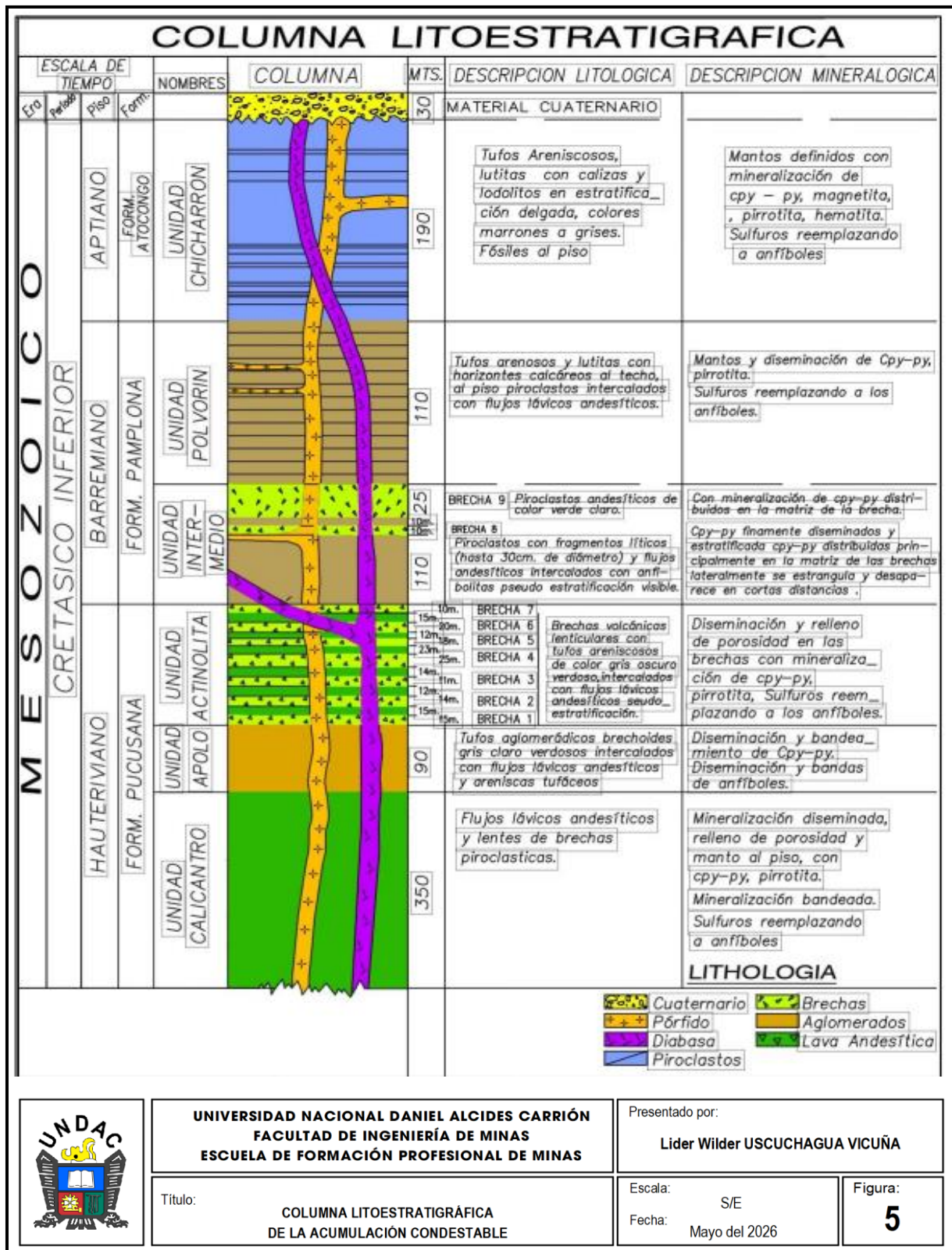
El Grupo Casma en esta región incluye lavas basálticas, andesíticas y dacíticas, intercaladas con depósitos piroclásticos y sedimentos marinos como calizas y lutitas. La actividad magmática que dio origen a estas rocas y a la posterior mineralización se estima en un rango de edad entre 145\$ y 105\$ Ma. Este contexto geodinámico es crucial, ya que el adelgazamiento de la corteza facilitó el ascenso de fluidos hidrotermales de alta temperatura vinculados a intrusiones dioríticas y tonalíticas (Haller & Fontboté, 2006).

Figura 4. Geología Regional de la Mina Raúl



Nota. La Figura 4 ha sido obtenido de Haller & Fontboté (2006).

Figura 5. Columna Lito estratigráfica de la Acumulación Condestable



Nota. La Figura 5 ha sido obtenido de Penadillo P. (2026).

Correlación con Otros Depósitos

Condestable comparte similitudes genéticas con otros depósitos IOCG prominentes en el Perú, como Marcona (Fe), Mina Justa (Cu-Fe-Au) y Pampa de Pongo (Fe-Cu-Au). Todos estos sistemas están relacionados con facies de dioritas y tonalitas que se formaron durante la actividad del arco magmático Casma. La particularidad de Condestable radica en su mayor contenido relativo de metales preciosos (Au, Ag) en comparación con los depósitos puramente de hierro de la zona de Marcona o Acarí (Ccallo et al., 2013).

2.2.14. Geología Local y Estratigrafía

La geología local de la mina es excepcional debido a que la secuencia hospedante ha sido inclinada (basculada) aproximadamente 40° hacia el oeste-suroeste (\$WSW\$). Este fenómeno tectónico post-mineral permite observar una sección transversal oblicua del sistema magmático-hidrotermal desde las zonas más profundas (stocks intrusivos) hasta la superficie paleo-volcánica a lo largo de un espesor de más de 6 kilómetros (Penadillo P. 2026).

Unidades de la Formación Copará

La mineralización se aloja predominantemente en las unidades de la Formación Copará (denominada Unidad IV en estudios regionales), la cual se divide localmente en cinco unidades litoestratigráficas numeradas de la base al techo:

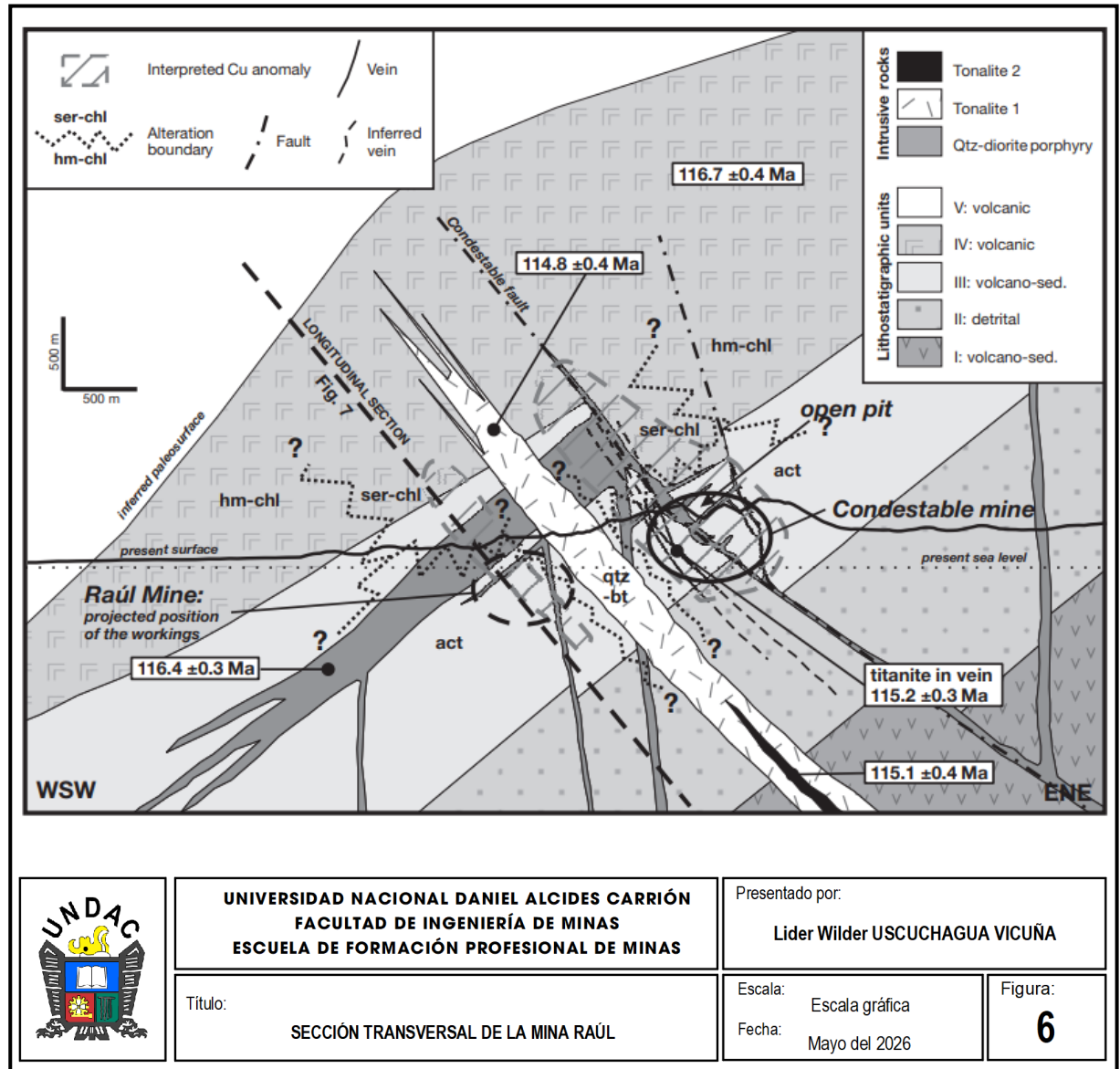
1. **Unidad I:** Compuesta por lavas andesíticas masivas y brechas volcánicas con delgadas intercalaciones de lutitas y areniscas.
2. **Unidad II:** Caracterizada por una mayor proporción de rocas sedimentarias, incluyendo calizas que han servido como horizontes favorables para el reemplazamiento mineral (skarns).

3. **Unidad III:** Predominio de depósitos piroclásticos y flujos de lavas dacíticas, asociados al crecimiento de un domo volcánico central.
4. **Unidad IV (Principal):** Es la unidad receptora más importante para los "mantos" de Condestable. Consiste en una alternancia de lavas andesíticas porfiríticas y tobas volcánicas.
5. **Unidad V:** Constituye el techo de la secuencia expuesta, con una disminución notable en la intensidad de la mineralización hacia los niveles superiores (Penadillo P. 2026).

El Complejo Intrusivo Raúl-Condestable

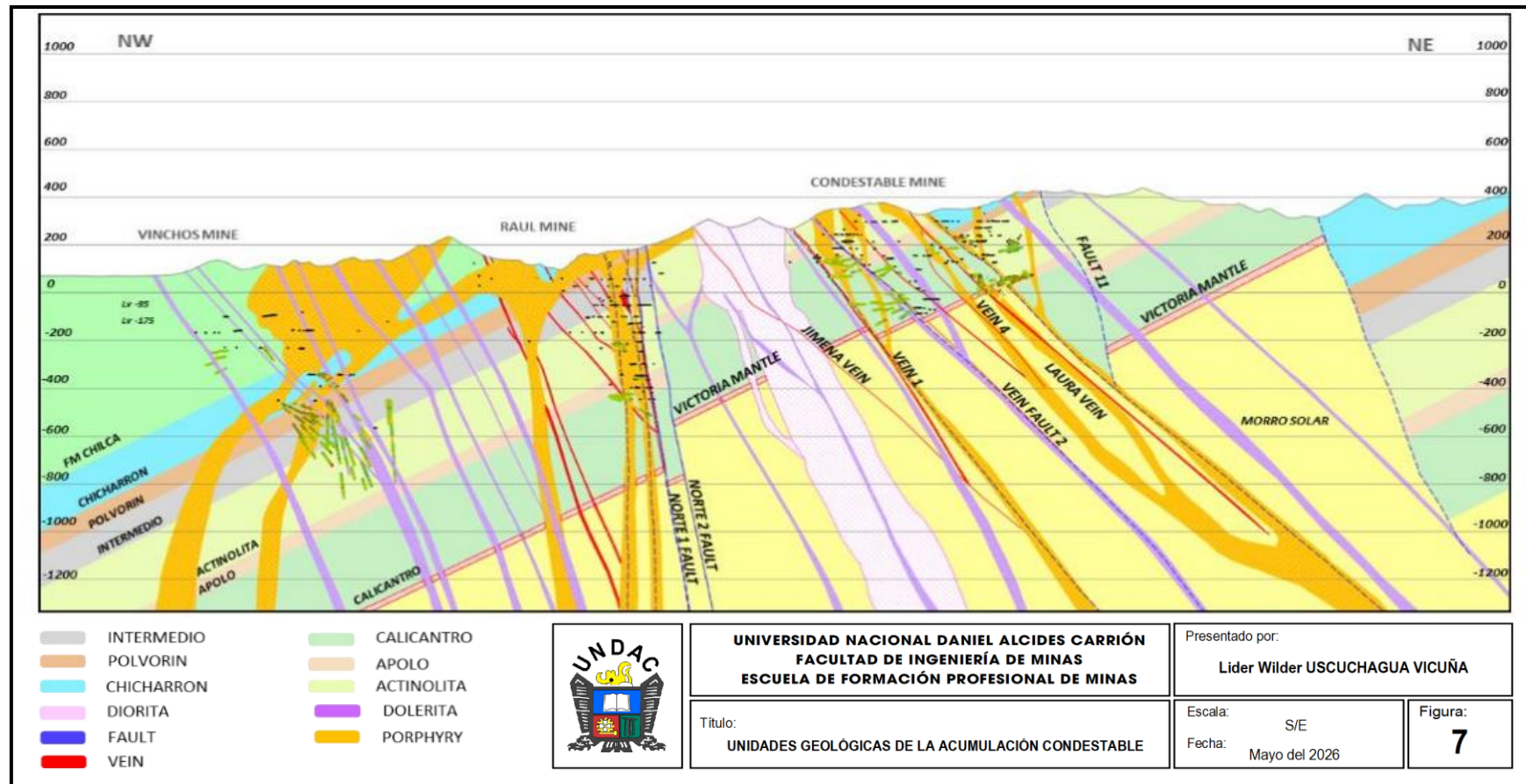
La actividad magmática responsable de la mineralización está representada por la "Superunidad Raúl-Condestable", que incluye un complejo de diques y sills de pórfido cuarzo-diorítico, seguidos por stocks tonalíticos centrales. Las dataciones de alta precisión indican que las tonalitas principales se emplazaron entre 115.1 ± 0.4 Ma y 114.8 ± 0.4 Ma, actuando como el motor térmico del sistema.

Figura 6. Sección Transversal de la Mina Raúl



Nota. La Figura 6 ha sido obtenido de Penadillo P. (2026).

Figura 7. Unidades Geológicas de la Acumulación Condestable



Nota. La Figura 7 ha sido obtenido de Penadillo P. (2026).

2.2.15. Geología Estructural y Controles de Mineralización

El control estructural en Condestable es tanto regional como local, determinando la geometría de los cuerpos mineralizados y la viabilidad técnica de su extracción.

Basculamiento y Tectónica

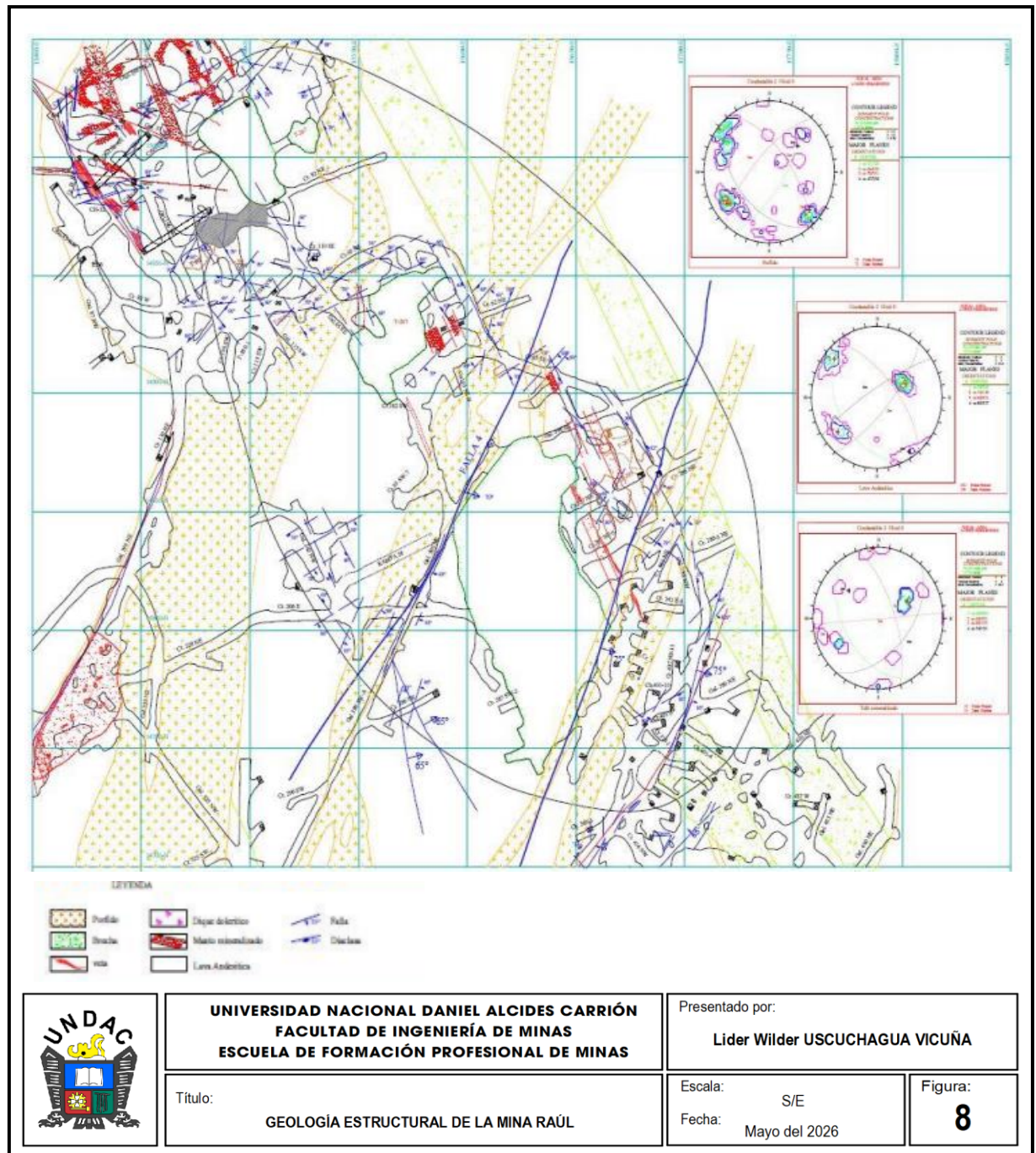
La estructura dominante es el homoclinal inclinado a 40° hacia el \$WSW\$. Este basculamiento es fundamental para la exploración, ya que permite que cuerpos mineralizados que originalmente eran horizontales (mantos) ahora se encuentren en una posición inclinada que facilita el uso de rampas y métodos de explotación subterránea por gravedad (Penadillo Palomino, 2026).

Sistemas de Fallas y Fracturamiento

Se identifican tres sistemas de fallas principales que controlan la distribución del mineral:

- **Fallas Longitudinales:** Siguen el rumbo de la estratigrafía (\$NW-SE\$). Estas fallas han actuado como conductos principales para los fluidos hidrotermales, facilitando el reemplazamiento metasomático de capas sedimentarias y volcánicas porosas para formar los mantos (Penadillo P. 2026).
- **Fallas Transversales y Vetas:** Fracturas orientadas preferentemente en dirección \$NE-SW\$. Estas estructuras albergan vetas de relleno de fractura que suelen presentar leyes de cobre y oro superiores a la media de la mina, aunque con menores potencias (Penadillo P. 2026).
- **Diques de Dolerita:** Un enjambre de diques básicos post-minerales de orientación \$NE-SW\$ corta todo el yacimiento. Aunque no son económicos, son críticos para la planificación minera, ya que pueden generar zonas de inestabilidad o actuar como barreras para la continuidad de los bloques de minado (Penadillo P. 2026).

Figura 8. Geología Estructural de la Mina Raúl



Nota. La Figura 8 ha sido obtenido de Diestra P. & Mayta M. (2023).

2.2.16. Geología Económica

Condestable es un depósito IOCG "centrado en intrusiones subvolcánicas". La mineralización de cobre y metales preciosos no es aleatoria, sino que obedece a un

patrón de alteración hidrotermal zonado que sirve como guía para la exploración y el control de calidad (Haller & Fontboté, 2006).

Patrones de Alteración

El sistema muestra un zonamiento clásico que rodea las intrusiones tonalíticas:

1. **Núcleo Potásico (Biotítico):** En el contacto inmediato con los stocks, se observa una intensa alteración a biotita secundaria acompañada de un *stockwork* de cuarzo y magnetita. Esta zona suele tener leyes de cobre menores pero es el indicativo del centro del sistema (De Haller et al., 2006).
2. **Zona de Actinolita (Intermedia):** Es la zona económica principal. La alteración consiste en actinolita, magnetita, clorita, titanita y escapolita. La calcopirita se asocia directamente con la actinolita masiva (De Haller et al., 2006).
3. **Zona Sericítica (Periférica/Superior):** Caracterizada por la presencia de sericita y clorita rica en hierro, con mayor contenido de pirita. En las partes más distales, aparece la hematita especular en lugar de la magnetita (De Haller et al., 2006).

Mineralogía y Metalogénesis

La asociación mineral principal es de alta temperatura: Calcopirita (CuFeS_2) + Pirita + Pirrotita + Magnetita (Fe_3O_4).

- **Cobre:** Se encuentra casi exclusivamente como calcopirita.
- **Hierro:** Predomina la magnetita, lo que otorga al yacimiento una fuerte firma magnética utilizada en prospección geofísica.
- **Oro y Plata:** Ocurren como inclusiones microscópicas o en solución sólida dentro de la calcopirita y, en menor medida, la pirita (Vera, 2024).

- **Edad de Mineralización:** El estudio de titanitas hidrotermales mediante *U-Pb* arroja una edad de 115.2 ± 0.3 Ma, lo que demuestra que la formación del mineral fue coetánea con el enfriamiento de las tonalitas subvolcánicas (De Haller et al., 2006).

2.2.17. Métodos de Explotación

En Compañía Minera Condestable se aplican los siguientes métodos de explotación:

Shrinkage Dinámico

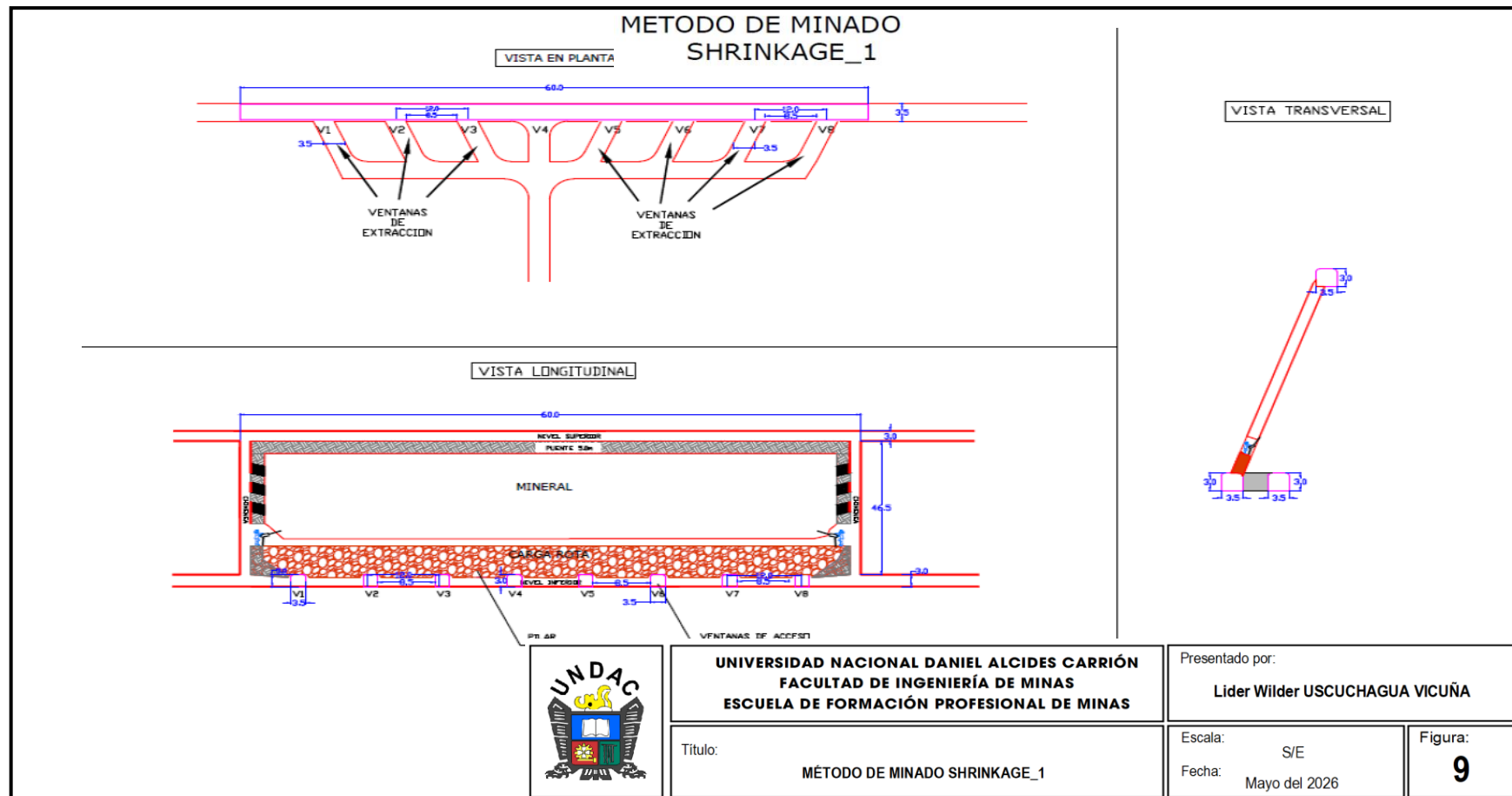
El método de Shrinkage Dinámico se aplica en las vetas con buzamiento subvertical. Se desarrolla la galería en estructura y se preparan las chimeneas en el buzamiento del mineral hasta el nivel superior para acceso y ventilación, el número de chimeneas dependerá de la longitud del block (la distancia máxima entre chimeneas es 60m).

Cuando la potencia de la veta es mayor a 3.0 m se requerirá de la preparación de un *by pass* paralelo y cruceros *Draw Point* (ventanas) diagonales para limpieza.

Cuando la potencia de la veta es menor a 3.0 m o cuando se requiera conservar la galería base, la preparación se realiza con ventanas desde la misma galería y chimeneas en contra para formar los conos.

Los cortes deben ser horizontales con taladros de 8 pies, siendo la perforación y voladura en realce.

Figura 9. *Método de Minado Shrinkage_1*



Nota. La Figura 9 ha sido obtenido de Solis Q. (2021)

METODO DE MINADO SHRINKAGE_2

VISTA EN PLANTA

60.00

16.00

V1 V2 V3 V4 V5 V6 V7 V8

VENTANAS DE EXTRACCION

VENTANAS DE EXTRACCION

VISTA LONGITUDINAL

60.00

NIVEL SUPERIOR

PUNTO 50m

MINERAL

CHINCHA

CHINCHA

46.5

3.0

3.0

3.5

V1 V2 V3 V4 V5 V6 V7 V8

PILAR

VENTANAS DE ACCESO

VISTA TRANSVERSAL

3.0

3.5

3.5

51

Sublevel Stopping (SLS) y LBH

La explotación en la Unidad Minera Condestable es 100% subterránea y altamente mecanizada. La competencia de la roca encajonante (lavas andesíticas de alta dureza) permite el uso de métodos de minado de tajeos abiertos sin necesidad de relleno sistemático inmediato.

El método predominante es el *Sublevel Stopping* (explotación por subniveles). Este método se aplica mediante la perforación de taladros largos (*Long Blast Hole* - LBH) desde galerías de producción hacia los bloques de mineral definidos.

- **Preparación:** Se construyen rampas de transporte de sección 4.0×4.0 metros con una gradiente promedio del 12% para permitir el tránsito de camiones mineros y Jumbos.
- **Perforación:** Se utilizan equipos *Simba* para perforar abanicos de taladros de largo alcance. La precisión en la perforación es vital para minimizar la dilución, la cual es una de las variables críticas para el éxito económico de la operación.
- **Extracción y Acarreo:** El mineral fragmentado se extrae mediante equipos de bajo perfil (*Scooptrams*) desde los niveles de carguío y se deposita en camiones de bajo perfil (dumpers) o en piques de traspaso que conducen el mineral hacia el nivel de extracción principal.

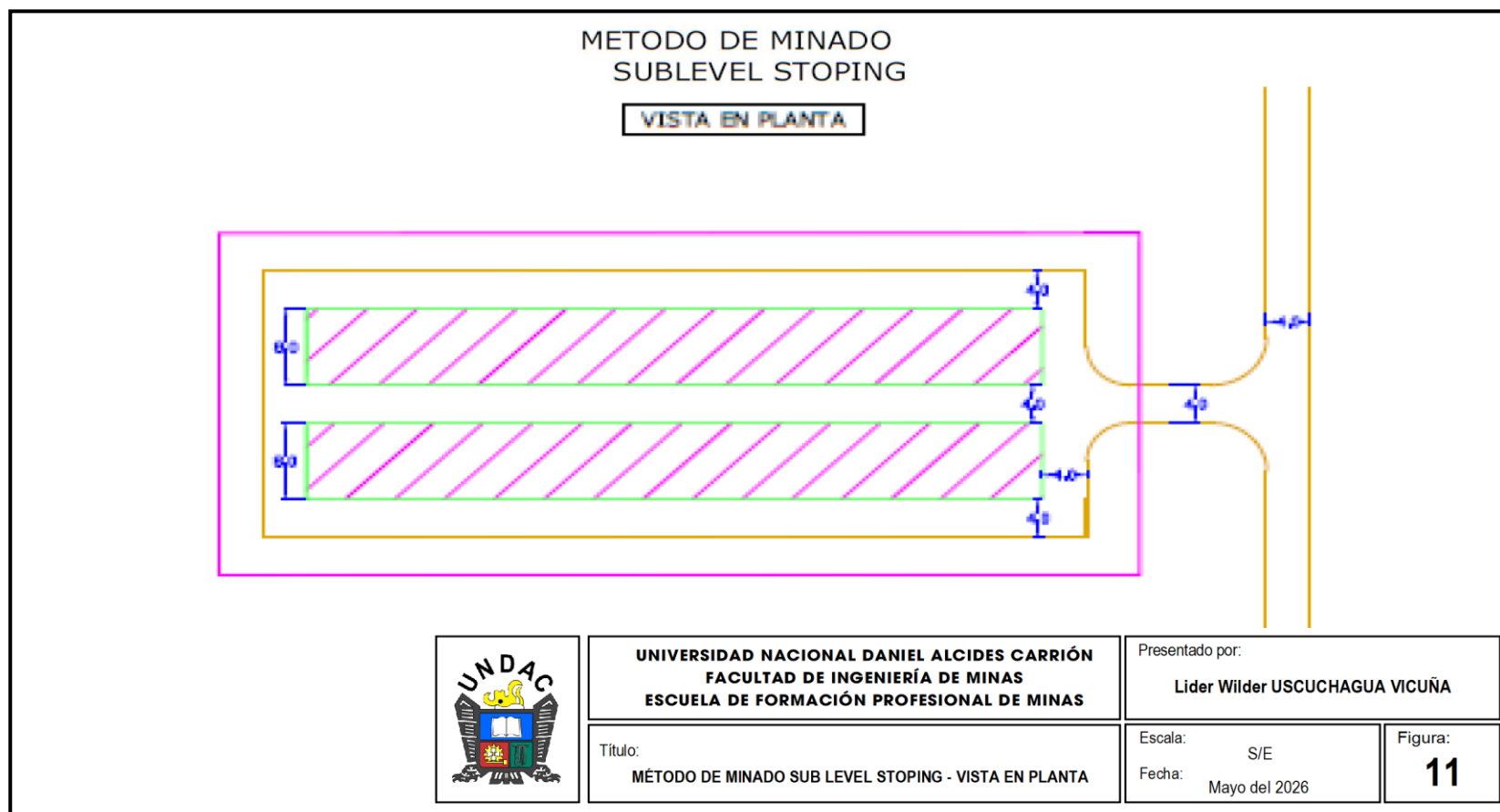
Infraestructura y Desarrollo Minero

La mina cuenta con una red compleja de labores subterráneas que incluyen:

- **Rampas de Acceso:** Permiten la mecanización total (*trackless*) de la operación, facilitando el movimiento rápido de la flota entre diferentes niveles y cuerpos mineralizados (mantos vs vetas).

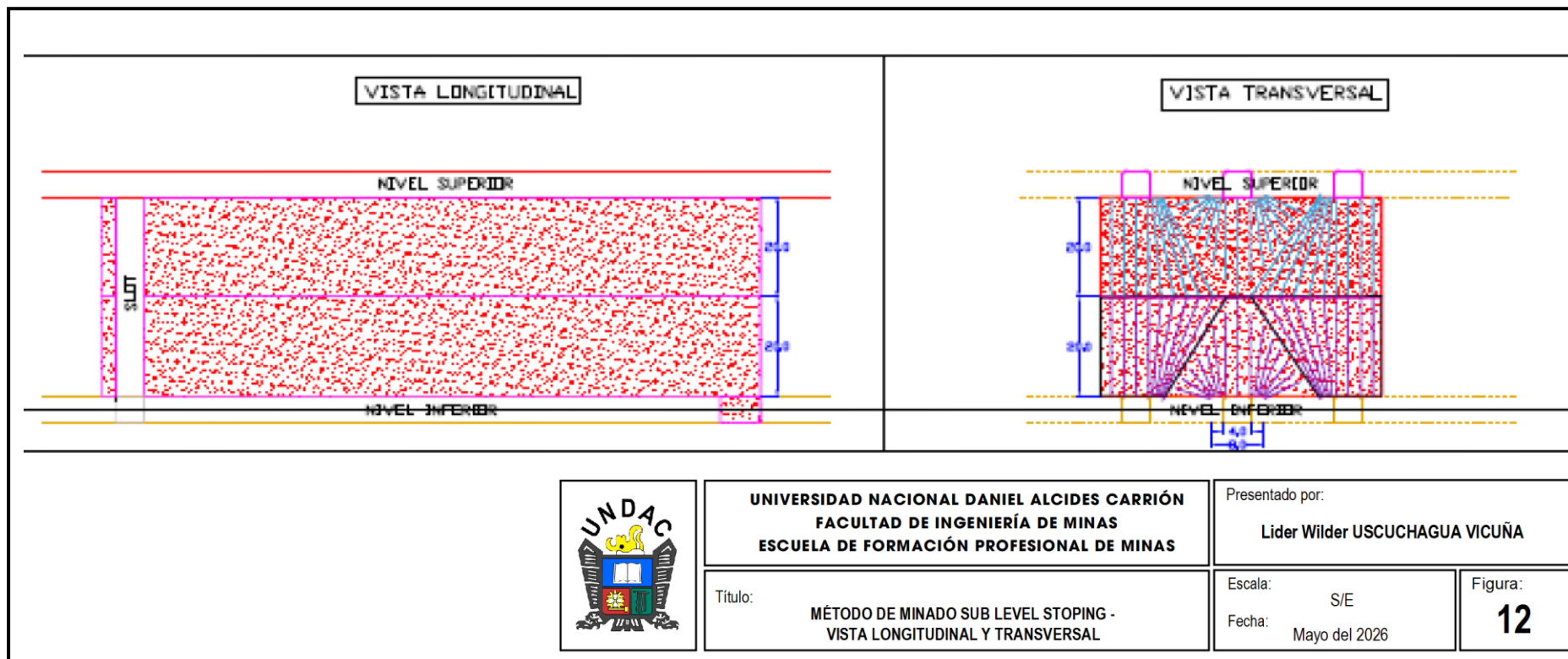
- **Chimeneas:** Se construyen utilizando el método convencional o mediante plataformas Alimak y Raise Boring para ventilación y servicios.
- **Sistema de Izaje:** Aunque la mayor parte del transporte es por rampa, la mina ha contado históricamente con piques para el izaje eficiente de mineral desde los niveles más profundos.

Figura 11. Método de Minado Sub Level Stoping – Vista en Planta



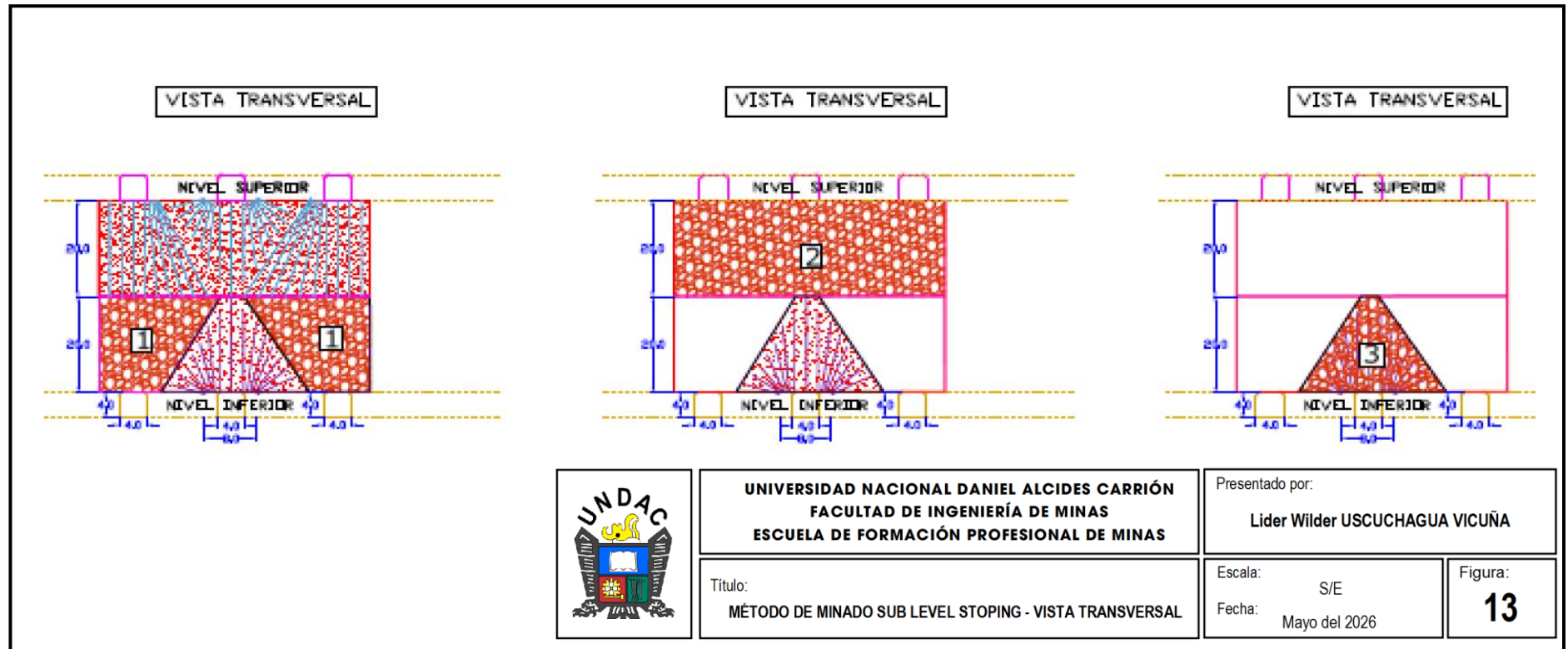
Nota. La Figura 11 ha sido obtenido de Solis Q. (2021).

Figura 12. Método de Minado Sub Level Stoping – Vista Longitudinal y Transversal



Nota. La Figura 12 ha sido obtenido de Solis Q. (2021).

Figura 13. Método de Minado Sub Level Stoping – Vista Transversal



Nota. La Figura 13 ha sido obtenido de Solis Q. (2021).

2.2.18. Planta Concentradora y Proceso Metalúrgico

La planta concentradora Raúl-Condestable es una instalación de flotación convencional diseñada para procesar sulfuros de cobre con recuperación de metales preciosos. Su capacidad ha sido expandida recientemente para capitalizar las economías de escala.

Capacidad y Ampliación

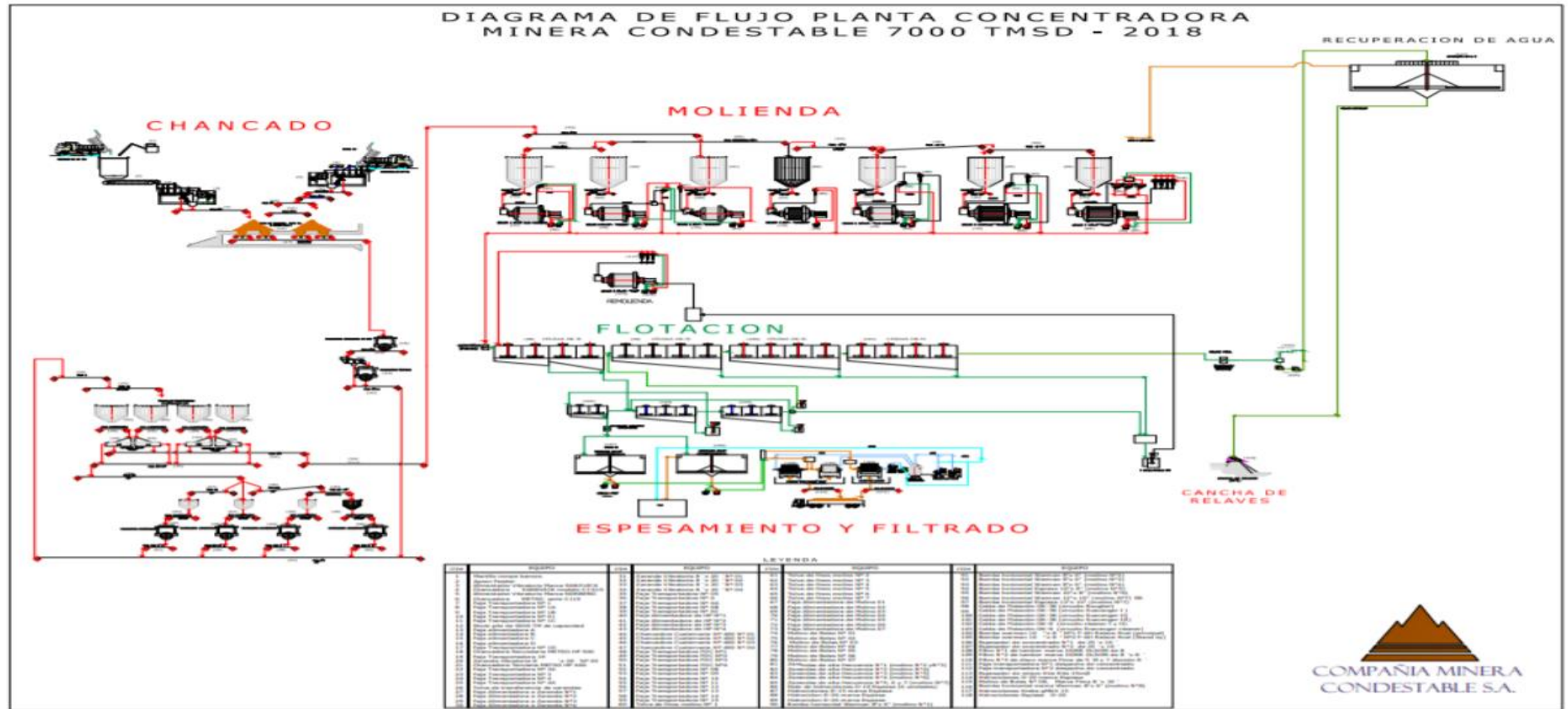
En el año 2022, la planta completó una expansión que aumentó su capacidad de procesamiento de 7,000 TMD a 8,400 TMD. Bajo la nueva administración de Rio2 Limited, existen planes firmes para elevar esta cifra a 10,000 TMD de forma inmediata y estudiar la viabilidad técnica de alcanzar las 12,000 TMD mediante optimizaciones en el circuito de molienda y flotación.

Etapas del Proceso de Beneficio

1. **Chancado:** El mineral de mina pasa por un circuito de chancado primario, secundario y terciario para reducir el tamaño de las rocas a menos de media pulgada.
2. **Molienda:** Se emplean molinos de bolas en circuito cerrado con hidrociclones para alcanzar una granulometría fina que asegure la liberación de las partículas de calcopirita de la ganga de actinolita y magnetita.
3. **Flotación:** El material molido (pulpa) entra en celdas de flotación donde se añaden reactivos (colectores, espumantes y modificadores de pH). Se genera un concentrado de cobre por desbaste (*rougher*), seguido de etapas de limpieza (*cleaning*) para elevar la ley comercial.
4. **Filtrado y Despacho:** El concentrado final es espesado y filtrado hasta alcanzar una humedad menor al 9%. El producto final es un concentrado de

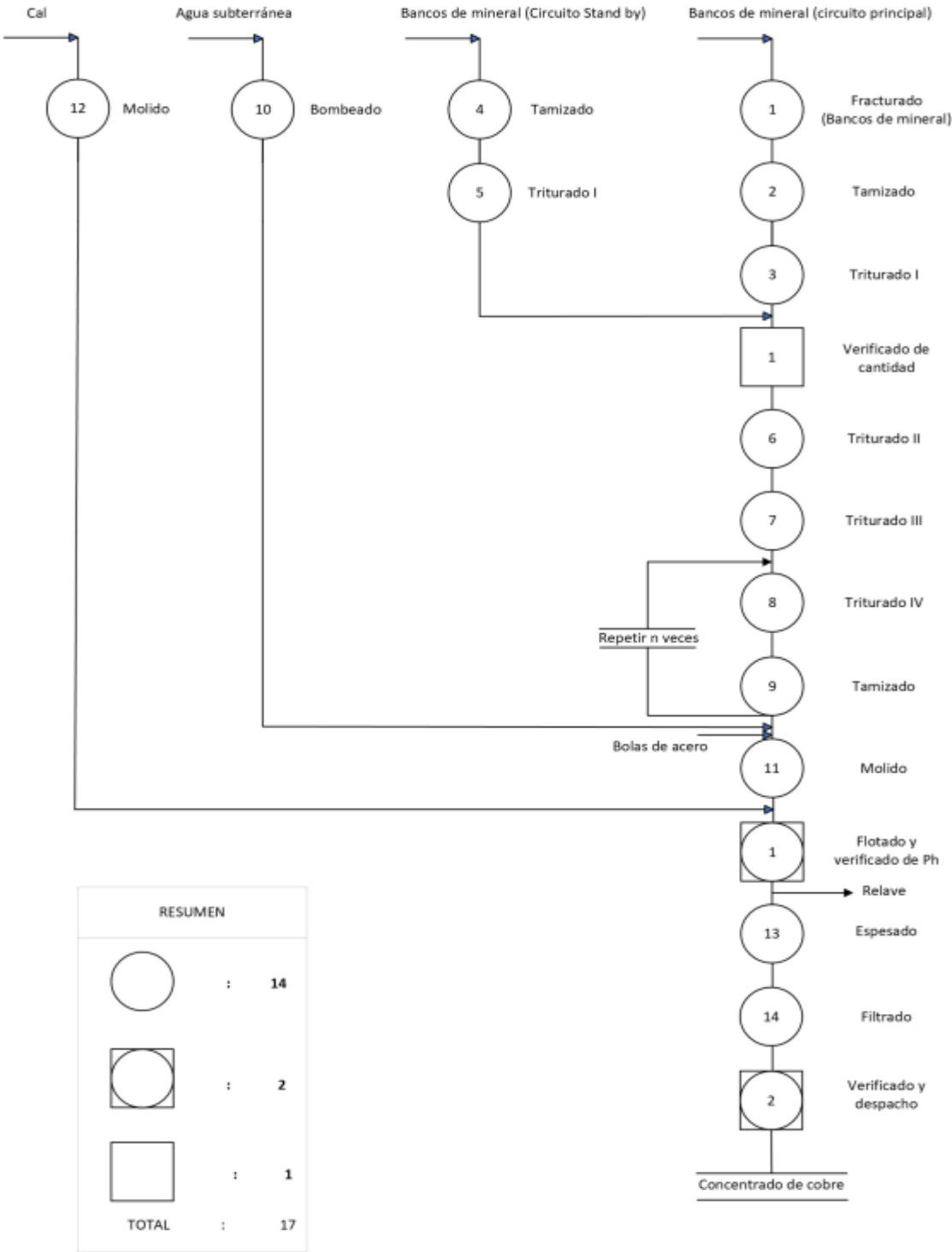
cobre "limpio", altamente valorado por las fundiciones debido a sus bajos contenidos de penalizables como arsénico o antimonio.

Figura 14. Planta Concentradora de Condestable



Nota. Información proporcionada por la Compañía Minera Condestable S.A.

Figura 15. Esquema de los Procesos de la Planta Concentradora



Nota. La figura ha sido obtenido de Zegarra C. (2022).

2.2.19. Desempeño Operativo y Producción

La eficiencia operativa de Condestable se refleja en sus sólidos indicadores de producción anual, los cuales se han mantenido estables a pesar de la madurez de la mina.

Estadísticas de Producción 2024

Durante el año 2024, la Unidad Minera Acumulación Condestable reportó los siguientes volúmenes oficiales de producción:

Tabla 16. *Estadísticas de Producción 2024*

Concepto Operativo	Unidad	Valor Reportado (2024)
Mineral Procesado Total	Toneladas	3,058,106
Concentrado de Cobre Producido	TMS	83,123
Cobre Fino Pagable	TMS	18,695
Producción Equivalente de Cobre	ktpa	~27.0
Recuperación Metalúrgica Promedio	%	>85% (estimado)

Este nivel de producción genera un impacto económico significativo, con una producción anual de cobre equivalente proyectada de aproximadamente 27,000 toneladas (o unas 80,000 onzas de oro equivalente). La consistencia en estas cifras ha sido el principal atractivo para la reciente adquisición por parte de Rio2 Limited.

Comercialización y Análisis de Ventas

El modelo de negocio de la Compañía Minera Condestable se centra en la venta de concentrados de cobre a mercados internacionales, principalmente fundiciones en Asia y Europa, o a través de empresas comerciales (*traders*) con fuerte presencia en el Perú.

Calidad del Producto y Valorización

El concentrado de Condestable se caracteriza por su pureza. Según informes técnicos recientes, el valor del concentrado se desglosa aproximadamente en un 80%

proveniente del contenido de cobre y un 20% de los metales preciosos asociados (oro y plata).

- **Ingresos:** La operación genera un EBITDA anual estimado entre 110 y 145 millones de dólares estadounidenses bajo el escenario de precios de 2025-2026.
- **Costos:** Los costos operativos se ven beneficiados por la baja profundidad de la mina y la corta distancia a los puertos, lo que compensa las leyes de cobre moderadas en comparación con grandes yacimientos de tajo abierto.

Tabla 17. Indicadores Financieros Proyectados

Indicador Financiero Proyectado (2026-2030)	Rango Estimado (M USD)
EBITDA Anual (Precios Consenso)	110
EBITDA Anual (Precios Spot)	145
Inversión de Capital Sustentatorio (CAPEX)	< 10.0 anual
Flujo de Caja Libre Neto	> 100.0 anual

2.2.20. Gestión del Capital Humano y Estructura Organizativa

La Compañía Minera Condestable es una fuente vital de empleo para la provincia de Cañete y la región Lima. La gestión del personal se divide entre la planilla directa de la empresa y la fuerza laboral proporcionada por empresas contratistas mineras especializadas.

Composición de la Fuerza Laboral

A inicios de 2024, se reportaba un equipo administrativo y de supervisión directa de aproximadamente 128 empleados en la sede de Lima y en la unidad minera. Sin embargo, la operación total, incluyendo minado, mantenimiento y servicios auxiliares, involucra a una población laboral mucho mayor a través de terceros (contratistas).

Las actividades de minado subterráneo, desarrollo de rampas y construcción de chimeneas son ejecutadas frecuentemente por socios estratégicos como Operaciones

Seprocal SAC o Mas Errázuriz, integrando a trabajadores técnicos, operarios de maquinaria pesada y personal de apoyo que, en conjunto, forman una comunidad de más de 1,500 personas vinculadas directamente a la operación. La estructura de gobernanza está liderada por la casa matriz Southern Peaks Mining (o Rio2 tras la transición), con un directorio enfocado en la transparencia y la ética corporativa.

2.2.21. Seguridad, Salud Ocupacional y Certificaciones

La seguridad de los trabajadores es la prioridad máxima declarada por la compañía. Condestable ha implementado un Sistema Integrado de Gestión que busca eliminar los peligros y controlar los riesgos mediante controles críticos y administrativos.

El Estándar Copper Mark

CMC se ha distinguido globalmente al ser la primera empresa de mediana minería en el mundo en obtener la certificación *The Copper Mark*. Este sello garantiza que la producción de cobre se realiza bajo los más altos estándares de gobernanza ambiental, social y ética (ESG). En 2024, la empresa inició el proceso de adaptación a los nuevos criterios de la guía Copper Mark para asegurar su recertificación en 2025.

Indicadores y Cultura de Prevención

La empresa mantiene un enfoque preventivo mediante:

- **Capacitación Continua:** El 100% de los gerentes y directores, así como la totalidad de la fuerza laboral y contratistas, reciben formación en prevención de corrupción, seguridad minera y respuesta ante emergencias.
- **Gestión de Riesgos:** Se aplican auditorías internas y externas constantes para verificar el cumplimiento de los estándares ISO en seguridad y salud ocupacional.

- **Rescate Minero:** La unidad cuenta con cuadrillas de rescate altamente entrenadas que han participado incluso en el rescate de trabajadores de otras minas cercanas, como el incidente ocurrido en la mina Cobriza en enero de 2024.

Figura 16. *Trabajadores de la Mina Condestable*



2.2.22. Gestión Ambiental y Sostenibilidad

La ubicación de la mina en el distrito de Mala, una zona con actividad agrícola y escasez de agua estacional, exige una gestión ambiental de clase mundial para asegurar la convivencia armónica con las comunidades vecinas.

Eficiencia Hídrica y Certificado Azul

Condestable es un referente en el uso eficiente del agua. Gracias a la implementación de tecnología de filtrado de relaves, la planta logra recircular aproximadamente el 95% del agua utilizada en el proceso minero. Por esta gestión, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) le ha otorgado el "Certificado Azul" por tres años consecutivos.

Descarbonización y Energía Limpia

La compañía ha trazado una meta ambiciosa de reducción de huella de carbono: disminuir el 30% de sus emisiones para el año 2030.

- **Energía Renovable:** El 100% de la electricidad consumida en la unidad es de origen renovable (hidroeléctrica), acreditado por la certificación internacional AENOR.
- **Electromovilidad:** Se han puesto en marcha planes piloto para la introducción de vehículos eléctricos en la operación subterránea, lo que reducirá la emisión de material particulado y gases de combustión dentro de la mina.

Manejo de Relaves y Desmontes

El Depósito de Relaves N° 5 es el componente principal para la disposición de finos. Su configuración ha sido optimizada mediante sucesivas modificaciones del estudio de impacto ambiental (MEIA) para aumentar su capacidad de almacenamiento de forma segura hasta alcanzar una cota final de 162 msnm, con factores de seguridad estáticos y pseudoestáticos que cumplen con la normativa nacional e internacional.

Figura 17. Políticas de Medio Ambiente



2.2.23. Reservas Minerales y Potencial de Exploración

La viabilidad a largo plazo de Condestable se apoya en una base de reservas sólida y un potencial de exploración que aún no ha sido totalmente cuantificado en sus áreas periféricas.

Vida de la Mina (LOM)

Al cierre de 2024, la unidad contaba con reservas probadas y probables que garantizan una vida útil de la mina superior a los 10 años al ritmo de producción actual. Este horizonte es inusualmente largo para una mina subterránea en operación continua, lo que elimina las presiones inmediatas de reemplazo de reservas.

Objetivos de Exploración y Crecimiento

El yacimiento Raúl-Condestable sigue abierto tanto a lo largo del rumbo como en profundidad. El paquete de tierras de más de 45,000 hectáreas está en gran parte inexplorado con técnicas modernas.

- **Recursos Geológicos:** Históricamente, el sistema ha albergado más de 32 millones de toneladas de mineral.
- **Nuevos Blancos:** Se han identificado múltiples objetivos de alta prioridad que podrían convertir recursos inferidos en indicados mediante campañas de perforación diamantina programadas para 2026 y 2027.
- **Expansión Orgánica:** La estrategia de Rio2 contempla que la generación de caja de la mina financie no solo sus propias expansiones de planta, sino también la exploración agresiva para duplicar potencialmente los recursos actuales en los próximos cinco años.

La Unidad Minera Acumulación Condestable representa un activo estratégico de primer orden en el panorama minero peruano. Su éxito no es producto del azar, sino de la convergencia de una geología favorable de tipo IOCG, una gestión operativa que ha sabido integrar dos minas históricas y un compromiso temprano con estándares de sostenibilidad que hoy son la norma global.

El análisis técnico permite concluir que:

1. **Potencial Geológico:** El basculamiento de la secuencia volcánica ha expuesto un sistema hidrotermal profundo de gran escala (\$115\$ Ma) que aún ofrece oportunidades de descubrimiento en sus extensiones.
2. **Resiliencia Operativa:** La capacidad de procesar más de 3 millones de toneladas anuales con métodos subterráneos mecanizados y una planta expandida a 8,400 TMD demuestra una madurez técnica notable.

3. **Valor Estratégico:** La reciente adquisición por Rio2 Limited por 241 millones de dólares valida la rentabilidad del activo, proyectando un EBITDA que superará los 110 millones de dólares anuales en el corto plazo.
4. **Modelo de Sostenibilidad:** La integración de energía 100% renovable y el reciclaje del 95% del agua posicionan a Condestable como un líder en la transición hacia una minería verde en el Perú.

En prospectiva, Condestable está encaminada a convertirse en una operación de 12,000 TMD, consolidando su posición como la mina subterránea de cobre más eficiente de la costa peruana y un pilar económico para el desarrollo del distrito de Mala y la provincia de Cañete.

2.3. Definición de términos básicos

Los términos más importantes de la tesis son los siguientes:

- **Accidente laboral**

Es todo evento no deseado que ocurre durante la ejecución del trabajo y que produce daño físico al trabajador, afectación a su salud o incapacidad temporal o permanente. En minería, puede estar asociado a caída de rocas, manipulación de equipos, trabajos en altura, voladuras u otras condiciones de riesgo operacional.

- **Chimenea**

Es una labor minera subterránea de desarrollo vertical o subvertical que comunica dos o más niveles de una mina. Las chimeneas cumplen funciones de ventilación, acceso, traspaso de mineral, paso de servicios o comunicación operacional entre labores.

- **Ciclo de trabajo**

Es la secuencia ordenada de actividades que se repiten en una labor minera para lograr el avance de la excavación. En la construcción de chimeneas, suele incluir perforación, voladura, ventilación, desate, limpieza, sostenimiento y preparación del siguiente disparo.

- **Condiciones de trabajo**

Son las características técnicas, ambientales, organizacionales y de seguridad bajo las cuales se desarrolla una actividad laboral. En minería subterránea incluyen ventilación, iluminación, espacio de trabajo, estabilidad del terreno, accesibilidad y exposición al riesgo.

- **Construcción de chimeneas**

Es el conjunto de operaciones técnicas y secuenciales destinadas a ejecutar una excavación vertical o inclinada en interior mina. Comprende actividades como perforación, voladura, ventilación, desate, limpieza, sostenimiento y control de seguridad.

- **Eficiencia operativa**

Es la capacidad de ejecutar una actividad minera utilizando de manera óptima los recursos disponibles, reduciendo tiempos improductivos, minimizando pérdidas y mejorando la continuidad del proceso.

- **Geomecánica**

Es la disciplina que estudia el comportamiento mecánico del macizo rocoso frente a los esfuerzos naturales e inducidos por la excavación minera, con el fin de diseñar labores seguras y seleccionar métodos adecuados de sostenimiento y explotación.

- **Innovación tecnológica**

Es la incorporación de nuevas tecnologías, equipos o procedimientos que generan mejoras en productividad, seguridad, calidad o eficiencia dentro de un proceso productivo.

- **Labor vertical**

Es toda excavación minera desarrollada en dirección ascendente o descendente, con buzamiento pronunciado o vertical, destinada a comunicación, ventilación, acceso o servicio dentro de la mina.

- **Mecanización minera**

Es la incorporación de equipos, máquinas y sistemas tecnológicos en las operaciones mineras para reemplazar o reducir el trabajo manual, mejorar la seguridad, incrementar la productividad y optimizar el desempeño del proceso.

- **Minería subterránea**

Es la actividad extractiva que se desarrolla bajo la superficie terrestre mediante labores de acceso, preparación, desarrollo y explotación del yacimiento mineral, empleando métodos y equipos adecuados a las condiciones geológicas, geomecánicas y operativas del depósito.

- **Perforación**

Es la operación unitaria mediante la cual se realizan taladros en la roca con la finalidad de alojar explosivos o facilitar el arranque del material. En la construcción de chimeneas, la perforación constituye una etapa fundamental del ciclo de avance.

- **Plataforma trepadora Alimak**

Es un sistema mecanizado de ascenso vertical o inclinado utilizado en minería subterránea para la ejecución de labores como chimeneas, piques cortos y trabajos de sostenimiento. Su funcionamiento se basa en una plataforma móvil que se desplaza sobre una guía o riel fijado a la roca, permitiendo transportar personal, herramientas y materiales durante el avance de la excavación.

- **Productividad**

Es la relación entre los resultados obtenidos y los recursos empleados durante un proceso productivo. En minería, se expresa comúnmente mediante indicadores como avance por guardia, metros desarrollados por período, rendimiento de perforación, volumen excavado o eficiencia de utilización de equipos y mano de obra.

- **Rendimiento de avance**

Es el grado de progreso alcanzado en una labor minera durante un tiempo determinado. En la construcción de chimeneas, el rendimiento de avance suele medirse en metros por día, metros por guardia o metros por ciclo de trabajo.

- **Seguridad operativa**

Es el conjunto de condiciones, procedimientos, controles y medidas preventivas orientadas a garantizar que las actividades mineras se desarrollen minimizando riesgos para las personas, equipos, instalaciones y medio de trabajo.

- **Sostenimiento**

Es el conjunto de elementos y técnicas empleados para estabilizar la excavación minera y prevenir desprendimientos o colapsos del macizo rocoso. Puede incluir pernos de roca, malla, shotcrete, cuadros u otros sistemas de soporte.

- **Tiempo de ejecución**

Es el período requerido para completar una actividad o proceso determinado. En esta tesis, se refiere al tiempo necesario para construir una chimenea desde el inicio de los trabajos hasta su culminación.

- **Voladura**

Es el proceso de fragmentación de la roca mediante el uso controlado de explosivos, con el propósito de facilitar la excavación y el avance de la labor minera.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La implementación de las plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas influye significativamente en el incremento de la rentabilidad y en la reducción de los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. La implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas incrementa la rentabilidad en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

- b. La implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas reduce los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

2.5. Identificación de variables

Para la investigación se consideran las variables dependientes e independientes, con el fin de obtener respuesta a los problemas de investigación.

2.5.1. Variables dependientes

Para el presente trabajo de investigación, las variables dependientes son:

Y_1 = Rentabilidad.

Y_2 = Accidentes laborales.

2.5.2. Variables independientes

Las variables independientes son:

X = Implementación de plataformas trepadoras Alimak.

X_1 = Condiciones operativas del equipo.

X_2 = Mecanización del proceso.

2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores

Variable Independiente: Implementación de plataformas trepadoras Alimak

A. Definición conceptual

La implementación de plataformas trepadoras Alimak es el proceso de incorporación, adaptación y utilización de un sistema mecanizado de ascenso vertical o inclinado en la ejecución de labores mineras subterráneas, especialmente en la construcción de chimeneas. Este sistema permite el desplazamiento seguro de personal, equipos y materiales sobre una guía instalada en la excavación, favoreciendo la mecanización del proceso constructivo, la mejora de las condiciones operativas, la reducción

de la exposición al riesgo y el incremento de la eficiencia en el desarrollo de labores verticales.

B. Definición operacional

En la presente investigación, la implementación de plataformas trepadoras Alimak se entenderá como el grado de incorporación y uso efectivo de este sistema en la construcción de chimeneas en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A. Su medición se realizará mediante indicadores relacionados con la aplicación del equipo en el proceso constructivo, la disponibilidad operativa, la frecuencia de uso, el grado de mecanización de las labores y las condiciones de operación durante la ejecución de chimeneas, a partir de registros operativos, observación técnica y documentación de campo.

Variable Dependiente 1: Rentabilidad

A. Definición conceptual

La rentabilidad es la capacidad de una actividad económica, proyecto o unidad productiva para generar beneficios en relación con la inversión realizada, los costos asumidos o los recursos utilizados en un período determinado. En el ámbito minero, la rentabilidad expresa el nivel de retorno económico obtenido como resultado de las operaciones, y permite evaluar si la explotación de un yacimiento genera utilidades suficientes para justificar técnica y financieramente su ejecución.

B. Definición operacional

La variable “Costos Operativos” se mide mediante el análisis de los costos unitarios y totales asociados a las principales operaciones mineras subterráneas, expresados en términos monetarios por tonelada producida y

por período de análisis. Estos costos se comparan entre un escenario sin optimización y un escenario optimizado.

Variable Dependiente 2: Accidentes laborales

A. Definición conceptual

Los **accidentes laborales** son sucesos repentinos e imprevistos que ocurren por causa o con ocasión del trabajo y que producen en el trabajador una lesión, enfermedad o incluso la muerte. La Organización Internacional del Trabajo define el accidente laboral como un evento inesperado relacionado con el trabajo que ocasiona daño personal al trabajador. Esta definición resalta que el accidente no se limita al espacio físico del puesto de trabajo, sino que comprende todo hecho vinculado con la actividad laboral y sus condiciones de ejecución.

B. Definición operacional

En la presente investigación, la variable accidentes laborales se entenderá como la ocurrencia de eventos no deseados durante la construcción de chimeneas en la Mina Raúl que afecten la integridad física del trabajador. Su medición se realizará mediante indicadores tales como número de accidentes ocurridos, frecuencia de accidentes, gravedad de los accidentes y días perdidos por lesión, a partir de los registros de seguridad, reportes de incidentes e informes de la operación. De manera aplicada, esta variable permitirá evaluar si la implementación de plataformas trepadoras Alimak contribuye a disminuir la accidentabilidad durante la ejecución de labores verticales. La pertinencia de registrar e investigar estos eventos también está alineada con la normativa peruana de seguridad y salud en el

trabajo, que exige el registro de accidentes, incidentes peligrosos y medidas correctivas.

La definición conceptual y operacional de variables se encuentra en la Tabla 18.

2.6.1. Variables de la Hipótesis General

Las variables de la hipótesis general se detallan a continuación:

- **Variables Independientes**

X = Implementación de plataformas trepadoras Alimak.

- **Variables Dependientes**

Y = Rentabilidad y accidentes laborales.

Y1 = Rentabilidad.

Y2 = Accidentes laborales.

2.6.2. Variables de las Hipótesis Secundarias

Son los siguientes:

Variables Independientes

X = Implementación de plataformas trepadoras Alimak.

- **Dimensiones:**

X₁ = Condiciones operativas del equipo.

X₂ = Mecanización del proceso.

- **Indicadores:**

X11 = Horas operativas.

X21 = Bajo.

X22 = Medio.

X23 = Alto.

Variables Dependientes

Y = Rentabilidad y seguridad laboral.

A. Dimensiones e Indicadores de la Primera Variable Dependiente:

Y_1 = Rentabilidad.

- **Dimensiones:**

Y_1 = Rentabilidad minera.

- **Indicadores:**

Y_{11} = Valor actual neto.

Y_{12} = Tasa interna de retorno.

Y_{13} = Relación costo-beneficio.

B. Dimensiones e Indicadores de la Segunda Variable Dependiente:

Y_2 = Seguridad laboral.

- **Dimensiones:**

Y_2 = Accidentes laborales.

- **Indicadores:**

Y_{21} = Número de accidentes laborales.

Y_{22} = Índice de frecuencia de accidentes laborales.

Ver la Tabla 18 donde se muestran las variables e indicadores del estudio.

Tabla 18. *Tabla de Operacionalización de Variables e Indicadores*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Técnica de análisis	Instrumento de análisis	Fuentes de datos
Variable Independiente: X = Implementación de plataformas trepadoras Alimak	X ₁ = Condiciones operativas del equipo X ₂ = Mecanización del proceso	X ₁₁ = Horas operativas X ₂₁ = Bajo X ₂₂ = Medio X ₂₃ = Alto	Observación, revisión documental, ficha de observación	Correlación de variables.	Departamento de planeamiento de la Mina Raúl
Variable Dependiente: Y = Rentabilidad y seguridad laboral	Y ₁ = Rentabilidad Y ₂ = Seguridad laboral	Y ₁₁ = Valor actual neto Y ₁₂ = Tasa interna de retorno Y ₂₂ = Relación beneficio/costo Y ₂₁ = Número de accidentes laborales. Y ₂₂ = Índice de frecuencia de accidentes laborales.	Observación, revisión documental, ficha de observación	Correlación de variables.	Departamento de planeamiento de la Mina Raúl

Nota. Los datos de la Tabla 18 es elaboración propia del autor de la tesis.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque está orientada a la solución de un problema específico de la minería subterránea, relacionado con la construcción de chimeneas en la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl. Su finalidad es determinar la utilidad de la implementación de plataformas trepadoras Alimak como alternativa tecnológica para mejorar la productividad y reducir los accidentes laborales durante la ejecución de estas labores.

En este sentido, la investigación no se limita a generar conocimiento teórico, sino que busca producir resultados con aplicación directa en el ámbito operativo minero. Según Marin S. & Placencia M. (2024), la investigación aplicada está dirigida a determinar, a través del conocimiento científico, los medios, metodologías y tecnologías por los cuales se puede cubrir una necesidad reconocida y específica (Marin S. & Placencia M. (2024). Del mismo modo, la OECD (2018) señala que la investigación aplicada se orienta hacia un objetivo práctico específico y procura desarrollar ideas para convertirlas en soluciones operativas (OECD, 2018). Por su parte,

Esteban Nieto (2018) refiere que la investigación aplicada o tecnológica conduce a la transformación material de la sociedad, al enfocarse en la atención de problemas concretos.

Bajo ese enfoque, la presente tesis se considera aplicada porque analiza una tecnología minera específica —las plataformas trepadoras Alimak— y su uso en un contexto real de operación subterránea, con la finalidad de generar evidencia técnica que contribuya a optimizar el desempeño constructivo de chimeneas en la unidad minera objeto de estudio (Marín Samanez & Placencia Medina, 2024).

3.2. Nivel de investigación

La presente investigación corresponde al nivel explicativo, porque tiene como propósito determinar la influencia de la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas en la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl. En este sentido, el estudio busca explicar la relación existente entre la incorporación de esta tecnología mecanizada y los resultados obtenidos en productividad y accidentes laborales durante la ejecución de labores verticales.

De acuerdo con Hernández et al. (2014), los estudios explicativos están dirigidos a responder por las causas de los fenómenos y explicar por qué ocurren, así como las condiciones en que se manifiestan. Asimismo, Bernal (2016) señala que la investigación explicativa tiene por finalidad identificar las causas de los hechos, eventos o fenómenos y establecer relaciones de causalidad entre variables.

En concordancia con estas definiciones, la presente tesis adopta el nivel explicativo porque pretende analizar de qué manera la implementación de plataformas trepadoras Alimak influye en el desempeño de la construcción de chimeneas, permitiendo establecer una interpretación técnica de sus efectos en el incremento de la

productividad y en la reducción de los accidentes laborales dentro de la operación minera estudiada.

3.3. Métodos de investigación

En la presente investigación se emplearán el método científico, el método inductivo-deductivo, el método analítico-sintético y el método estadístico. El método científico orientará de manera general el desarrollo del estudio, desde la identificación del problema hasta la formulación de conclusiones. El método inductivo-deductivo permitirá, por un lado, partir de la observación de hechos específicos ocurridos en la construcción de chimeneas en la Mina Raúl y, por otro, interpretar dichos hechos a la luz de fundamentos teóricos relacionados con mecanización minera, productividad y seguridad laboral. El método analítico-sintético hará posible descomponer el problema en sus variables principales para luego integrarlas en una explicación global sobre la influencia de la implementación de plataformas trepadoras Alimak. Finalmente, el método estadístico permitirá procesar e interpretar los datos cuantitativos obtenidos, a fin de sustentar los resultados de la investigación con base objetiva.

Según Hernández et al. (2014), la investigación científica es un proceso sistemático, crítico y empírico aplicado al estudio de un fenómeno. Por su parte, Bernal (2016) señala que los métodos inductivo, deductivo, analítico y sintético constituyen procedimientos lógicos fundamentales para la construcción del conocimiento científico. Asimismo, Ñaupas P. et al. (2024) destacan la importancia del método estadístico para el tratamiento de los datos en las investigaciones cuantitativas.

3.4. Diseño de la investigación

La presente investigación es de diseño no experimental, porque las variables de estudio no serán manipuladas deliberadamente, sino observadas tal como se presentan en la realidad operativa de la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl. En este

caso, se analizará la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas dentro de su contexto natural, evaluando su influencia sobre la productividad y los accidentes laborales.

Asimismo, el estudio adopta un diseño transeccional, ya que la información será recopilada en un solo momento o durante un período determinado, con el propósito de analizar el comportamiento de las variables en dicho contexto temporal. De igual forma, se considera un diseño correlacional-causal, porque busca determinar la influencia de la variable independiente, implementación de plataformas trepadoras Alimak, sobre la variable dependiente, desempeño en la construcción de chimeneas.

De acuerdo con Hernández et al. (2014), los diseños no experimentales se realizan sin manipular intencionalmente las variables, observando los fenómenos tal como ocurren en su ambiente natural. Asimismo, los diseños transeccionales recolectan datos en un solo momento, mientras que los correlacionales-causales permiten analizar relaciones e inferir posibles efectos entre variables. En concordancia con ello, Bernal (2016) refiere que la investigación no experimental estudia los fenómenos tal como se presentan en la realidad, sin intervención del investigador.

En consecuencia, el diseño asumido resulta pertinente para la presente tesis, ya que permite analizar objetivamente los efectos de la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas, sin alterar las condiciones propias de la operación minera.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población estará conformada por:

- Trabajadores involucrados en la construcción de chimeneas en la Mina Raúl;

- Supervisores e ingenieros responsables del proceso;
- Operadores de plataformas trepadoras Alimak;
- Registros de avance de chimeneas;
- Reportes de productividad;
- Reportes de accidentes laborales y seguridad.

3.5.2. Muestra

La muestra estará conformada por:

- Personal técnico y operativo seleccionado por su participación directa en la construcción de chimeneas;
- Registros operativos y de seguridad correspondientes al período analizado.

La unidad de análisis estará constituida por cada labor de construcción de chimeneas ejecutada con apoyo de plataformas trepadoras Alimak en la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl, así como por el personal y los registros asociados a dicho proceso constructivo.

El tipo de muestreo será no probabilístico intencional, ya que los elementos de la muestra serán seleccionados de manera deliberada, considerando criterios como participación directa en la construcción de chimeneas, experiencia en el uso o supervisión de plataformas trepadoras Alimak, acceso a información técnica y disponibilidad de registros de productividad y seguridad.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

En la presente investigación se utilizarán como técnicas de recolección de datos la observación directa, el análisis documental y la entrevista. La observación directa permitirá identificar las condiciones reales de operación durante la construcción de chimeneas mediante plataformas trepadoras Alimak. El análisis documental facilitará

la revisión de reportes de productividad, partes diarios, registros de accidentes laborales e informes técnicos relacionados con la ejecución de las labores. Por su parte, la entrevista permitirá obtener información especializada del personal técnico y operativo involucrado en el proceso constructivo.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se emplearán en la investigación serán la ficha de observación, la ficha de análisis documental y la guía de entrevista. La ficha de observación servirá para registrar de manera estructurada las condiciones operativas y de seguridad del proceso. La ficha de análisis documental permitirá ordenar la información obtenida de los registros técnicos y reportes de la empresa. Finalmente, la guía de entrevista será aplicada al personal clave para recopilar información relevante sobre el uso de las plataformas trepadoras Alimak y sus efectos en la productividad y la seguridad laboral.

Figura 18. *Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos*

Técnica	Instrumento	Finalidad
Observación directa	Ficha de observación	Registrar condiciones reales de operación, seguridad y uso de la plataforma Alimak en la construcción de chimeneas
Análisis documental	Ficha de análisis documental	Recopilar datos de reportes de avance, productividad, accidentes laborales y documentos técnicos
Entrevista	Guía de entrevista	Obtener información técnica y experiencia del personal involucrado en la construcción de chimeneas

Nota. La

Técnica	Instrumento	Finalidad
Observación directa	Ficha de observación	Registrar condiciones reales de operación, seguridad y uso de la plataforma Alimak en la construcción de chimeneas

Análisis documental	Ficha de análisis documental	Recopilar datos de reportes de avance, productividad, accidentes laborales y documentos técnicos
Entrevista	Guía de entrevista	Obtener información técnica y experiencia del personal involucrado en la construcción de chimeneas

Figura 18 es elaboración propia del autor de la tesis.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

3.7.1. Selección de los Instrumentos de Investigación

La selección de los instrumentos de investigación se realizó considerando la naturaleza de las variables, los objetivos del estudio y el diseño metodológico adoptado. En ese sentido, se seleccionaron la ficha de observación, la ficha de análisis documental y el cuestionario estructurado con escala Likert, por ser instrumentos adecuados para recopilar información sobre la implementación de plataformas trepadoras Alimak y su influencia en la productividad y los accidentes laborales durante la construcción de chimeneas en la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl.

3.7.2. Validación de los Instrumentos

La validación de los instrumentos se efectuará mediante juicio de expertos, procedimiento a través del cual especialistas en metodología de la investigación y en el área temática del estudio evaluarán la claridad, pertinencia, coherencia y relevancia de cada uno de los ítems y criterios incorporados en los instrumentos. Las observaciones formuladas permitirán realizar los ajustes correspondientes antes de su aplicación definitiva.

3.7.3. Confiabilidad de los Instrumentos

La confiabilidad del cuestionario estructurado con escala Likert será determinada mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, a partir de una prueba piloto aplicada a sujetos con características semejantes a la muestra de estudio. Este procedimiento permitirá medir la consistencia interna del instrumento. En el caso de la ficha de observación y la ficha de análisis documental, la confiabilidad se asegurará mediante la estandarización de sus criterios de aplicación y registro.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.8.1. Técnicas de Procesamiento de Datos

Para el procesamiento de los datos se realizará la revisión, depuración, codificación, tabulación y organización de la información obtenida mediante los instrumentos de recolección de datos. Las respuestas del cuestionario con escala Likert serán codificadas numéricamente, mientras que la información recopilada a través de la ficha de observación y la ficha de análisis documental será clasificada de acuerdo con las variables, dimensiones e indicadores de estudio. Posteriormente, los datos serán ingresados y procesados en hojas de cálculo de Microsoft Excel y, de ser necesario, en un software estadístico.

3.8.2. Técnicas de Análisis de Datos

El análisis de los datos se efectuará mediante técnicas de estadística descriptiva e inferencial. La estadística descriptiva permitirá presentar la información en tablas de frecuencia, porcentajes, promedios y gráficos, facilitando la interpretación del comportamiento de las variables. La estadística inferencial será utilizada para contrastar las hipótesis y establecer la influencia de la implementación de plataformas trepadoras Alimak sobre la productividad y los accidentes laborales en la construcción de

chimeneas. Asimismo, la interpretación de los puntajes obtenidos en el cuestionario Likert se realizará mediante rangos de valoración previamente establecidos.

3.9. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico de la presente investigación comprenderá el proceso de revisión, codificación, tabulación, análisis e interpretación de los datos recolectados mediante el cuestionario con escala Likert, la ficha de observación y la ficha de análisis documental. Para ello, la información será organizada en una base de datos y procesada mediante los programas Microsoft Excel y SPSS.

En el análisis descriptivo se emplearán tablas de frecuencia, porcentajes, medias aritméticas y desviación estándar, con la finalidad de resumir y presentar el comportamiento de las variables: implementación de plataformas trepadoras Alimak y desempeño en la construcción de chimeneas. Asimismo, los resultados del cuestionario serán interpretados mediante rangos de valoración establecidos para la escala Likert.

La validez de contenido del cuestionario será determinada mediante juicio de expertos y, de ser necesario, cuantificada mediante el coeficiente V de Aiken. La confiabilidad del instrumento se establecerá mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, a fin de verificar su consistencia interna.

Para la contrastación de hipótesis se utilizará el coeficiente de correlación Rho de Spearman, debido a que los datos proceden de una escala ordinal y el estudio busca determinar la relación entre la implementación de plataformas trepadoras Alimak y el desempeño en la construcción de chimeneas, expresado en la productividad y los accidentes laborales. El nivel de significancia asumido será de 0.05.

3.10. Orientación Ética Filosófica y Epistémica

La presente investigación se desarrollará bajo una orientación ética basada en la honestidad científica, la objetividad, la confidencialidad y el respeto hacia las personas

e instituciones involucradas. La información obtenida será utilizada únicamente con fines académicos, resguardando la identidad de los participantes y garantizando un tratamiento responsable de los datos técnicos y documentales proporcionados por la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl.

Desde el punto de vista filosófico, la investigación se sustenta en una orientación realista y racional, al considerar que los fenómenos estudiados existen objetivamente en la realidad operativa minera y pueden ser conocidos a través de la observación, el análisis lógico y la interpretación sistemática. En ese sentido, la implementación de plataformas trepadoras Alimak y sus efectos en la construcción de chimeneas constituyen hechos concretos susceptibles de estudio científico.

En el plano epistémico, la investigación se enmarca en una postura positivista o postpositivista de base cuantitativa, porque busca medir variables, analizar relaciones entre ellas y contrastar hipótesis mediante procedimientos sistemáticos y verificables. Esta orientación permite producir conocimiento técnico sustentado en evidencia empírica, adecuado para explicar la influencia de la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la productividad y en los accidentes laborales durante la construcción de chimeneas.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La industria minera en el Perú ha experimentado una evolución técnica sin precedentes en las últimas décadas, impulsada por la necesidad de profundizar las operaciones en yacimientos de complejidad geológica creciente. En este escenario, la construcción de chimeneas representa una de las labores más críticas del desarrollo minero, no solo por su función vital en la ventilación y el tránsito de materiales, sino por el riesgo intrínseco que conlleva su ejecución ascendente. La Compañía Minera Condestable S.A., ubicada en el distrito de Mala, provincia de Cañete, es un referente en la implementación de innovaciones operativas, habiendo transitado de métodos de explotación tradicionales como cámaras y pilares hacia sistemas de explotación por subniveles en mantos. Esta transición operativa ha demandado una reevaluación exhaustiva de los métodos de construcción de chimeneas, contrastando el método convencional de ascenso manual con el sistema mecanizado de plataforma trepadora Alimak.

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo comprendió el conjunto de actividades orientadas a la obtención de información primaria y secundaria en la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl, con el propósito de analizar la implementación de plataformas

trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas. Esta fase incluyó la coordinación institucional, la observación de campo, la revisión de registros operativos y de seguridad, y la aplicación del cuestionario al personal involucrado en las labores verticales.

La observación de campo permitió examinar directamente las condiciones operativas de la construcción de chimeneas, mientras que la revisión documental posibilitó recopilar datos de productividad y accidentabilidad. Por su parte, la aplicación del cuestionario permitió obtener información del personal técnico y operativo sobre el uso, funcionamiento e influencia de la plataforma trepadora Alimak en el proceso constructivo. La información obtenida durante esta etapa constituyó la base empírica para el análisis estadístico y la contrastación de hipótesis de la investigación.

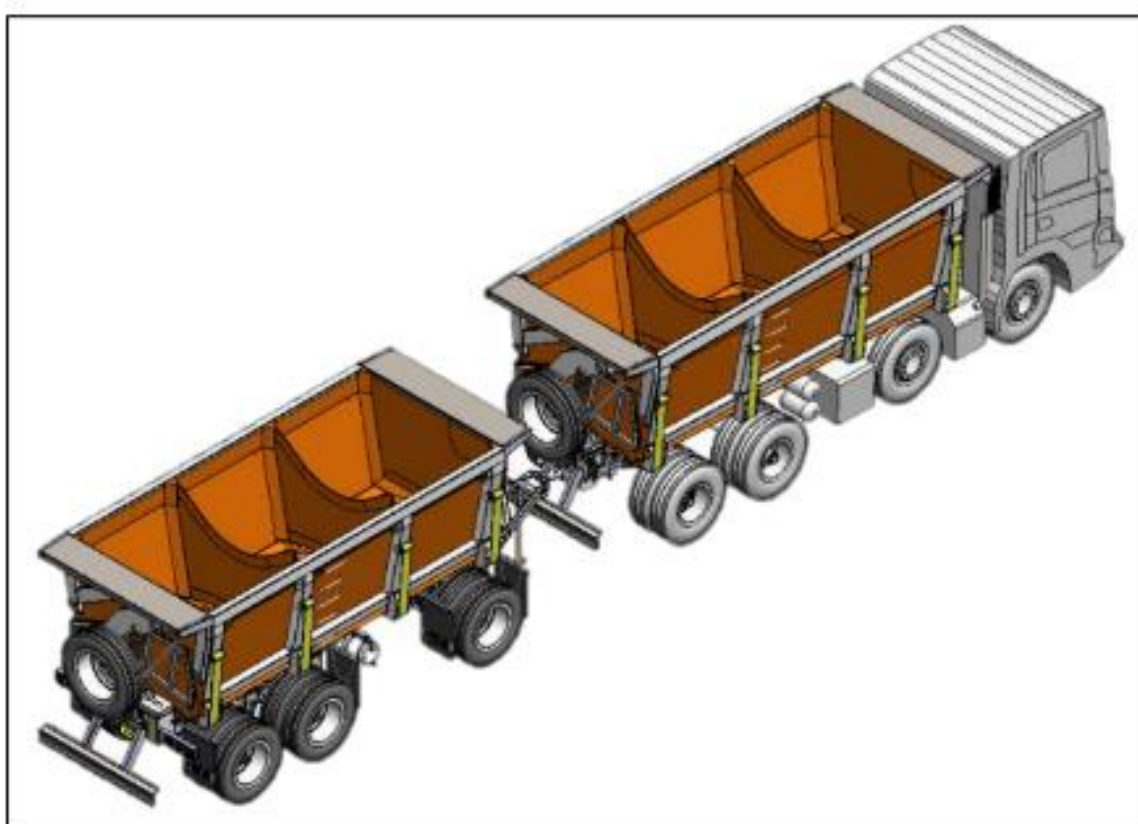
4.1.1. Marco operativo de la mina Raúl

Para comprender la selección de los métodos de construcción de chimeneas, es imperativo analizar el entorno geológico en el que opera la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A. La mina se sitúa en las primeras estribaciones andinas, con altitudes que varían entre los 100 y 450 m.s.n.m., lo que le confiere una ubicación privilegiada en términos logísticos pero desafiante en términos de profundidad operativa. El yacimiento está compuesto por una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas, donde predominan las intrusiones de pórfido diorítico, granodiorita y dolerita. Esta diversidad litológica determina la competencia del macizo rocoso y, por ende, el tipo de perforación y sostenimiento requerido en las labores verticales (Yepez et al., 2021).

Históricamente, Condestable operó con un enfoque convencional que, ante la presión de los precios del cobre y los crecientes costos de producción, debió ser

optimizado mediante la introducción de métodos masivos de explotación. La transición hacia la explotación por subniveles en los mantos del yacimiento ha incrementado la demanda de chimeneas de gran longitud para ventilación principal y secundaria, así como para la evacuación de mineral y el paso de servicios. En este contexto, la rapidez en la entrega de estas labores es un factor determinante para el cumplimiento del plan de minado y la salud financiera del proyecto (Yepez et al., 2021).

Figura 19. *División de la Tolvas del Camión y Remolque*



Nota. Fuente Yepez et al. (2021).

4.1.2. Método Convencional de Construcción de Chimeneas

El método convencional de construcción de chimeneas, ampliamente difundido en la pequeña y mediana minería del Perú, se basa en un proceso de ascenso manual utilizando plataformas provisionales de madera y puntales de avance. Este

procedimiento es intensivo en mano de obra y requiere una destreza física y técnica considerable por parte del personal operativo.

Ciclo de Trabajo y Avance

En el método convencional, la perforación se realiza típicamente con máquinas neumáticas tipo Jackleg, utilizando barrenos de 4 a 6 pies de longitud. El ciclo operativo comienza con la instalación de puntales de madera (comúnmente de eucalipto) que sirven de soporte para la plataforma de trabajo desde la cual el perforista realiza los taladros en el frente ascendente. Una vez completada la perforación y la carga de explosivos, el personal debe retirar los equipos y descender antes de la voladura.

El avance neto por disparo en el método convencional es limitado. En secciones estándar de 2.5 m x 1.5 m, se reportan avances promedio de 1.1 metros por ciclo, con una eficiencia de voladura que ronda el 95% bajo condiciones controladas. Sin embargo, el tiempo total de construcción se ve penalizado por la lentitud en la etapa de ventilación post-voladura y el transporte manual de los insumos (maderas, máquinas, barrenos) hacia el frente de trabajo, que puede estar a decenas de metros de altura sobre el nivel base (Herrera H., 2023).

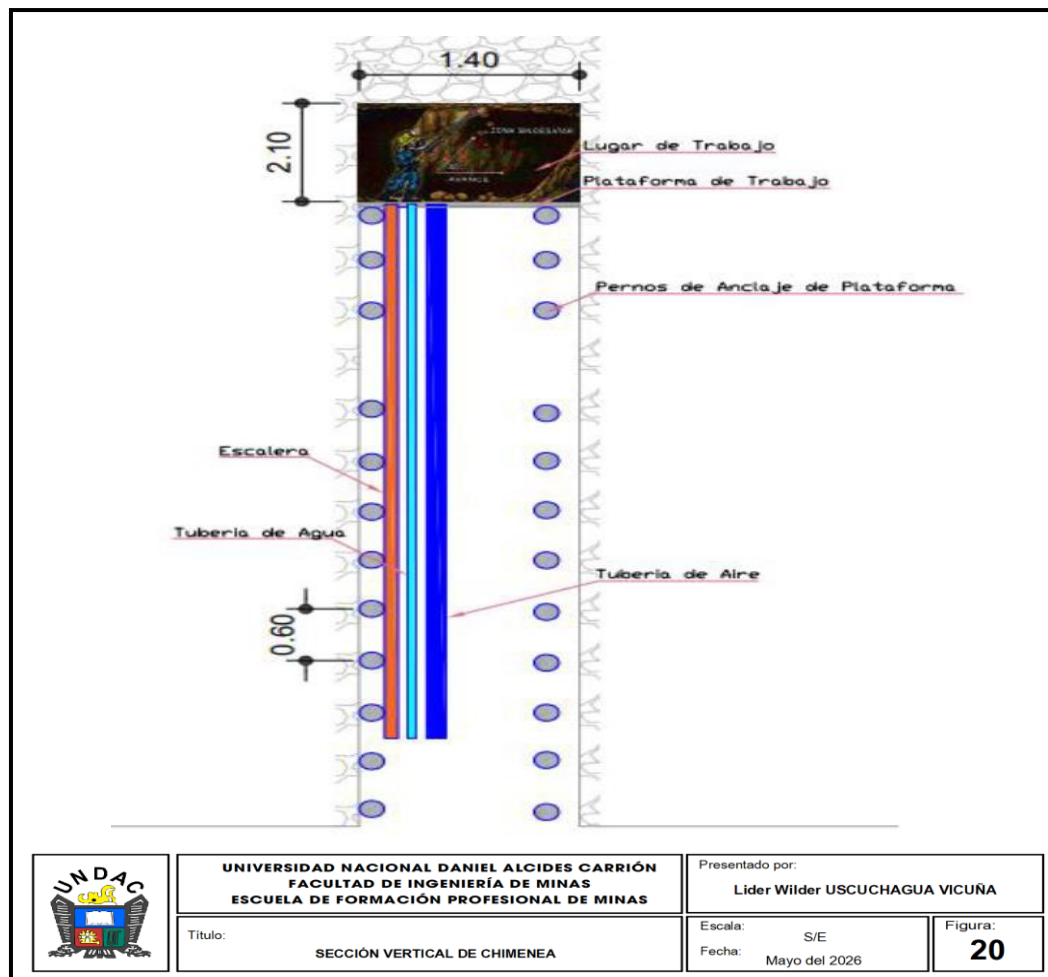
Uso de Recursos y Limitaciones Logísticas

El recurso principal en el método convencional es la madera de eucalipto, utilizada tanto para el sostenimiento como para la creación de las plataformas de trabajo. Este insumo representa un costo logístico significativo y una carga operativa adicional, ya que la madera debe ser dimensionada y transportada manualmente a través de la chimenea. La mano de obra necesaria para mantener un avance sostenido es considerable, involucrando no solo al perforista y su ayudante, sino también a personal de apoyo para el acarreo de materiales (Herrera H., 2023).

Tabla 19. Recursos y Limitaciones del Método Convencional

Recurso	Función en el Método Convencional	Limitación Técnica
Madera (Eucalipto)	Plataformas y puntales de avance	Alto consumo, riesgo de incendio, degradación
Aire Comprimido	Accionamiento de Jackleg y ventilación básica	Pérdida de presión en longitudes > 50m
Mano de Obra	Perforista, Ayudante, Personal de logística	Alta fatiga, exposición a riesgos críticos
Equipos	Jackleg, Winche manual	Capacidad de carga limitada, baja velocidad

Figura 20. Sección Vertical de Chimenea



Nota. Las dimensiones están dadas en metros. Fuente Herrera H. (2023).

4.1.3. Sistema Mecanizado Alimak (Raise Climber)

El sistema Alimak representa la mecanización total del ascenso en chimeneas. Este equipo consiste en una plataforma trepadora que se desplaza por un carril guía anclado permanentemente a la roca mediante pernos de expansión. La introducción de este sistema en unidades como Condestable ha permitido abordar proyectos de ventilación y servicios con longitudes que superan los 100 metros, imposibles o altamente ineficientes de ejecutar por el método convencional.

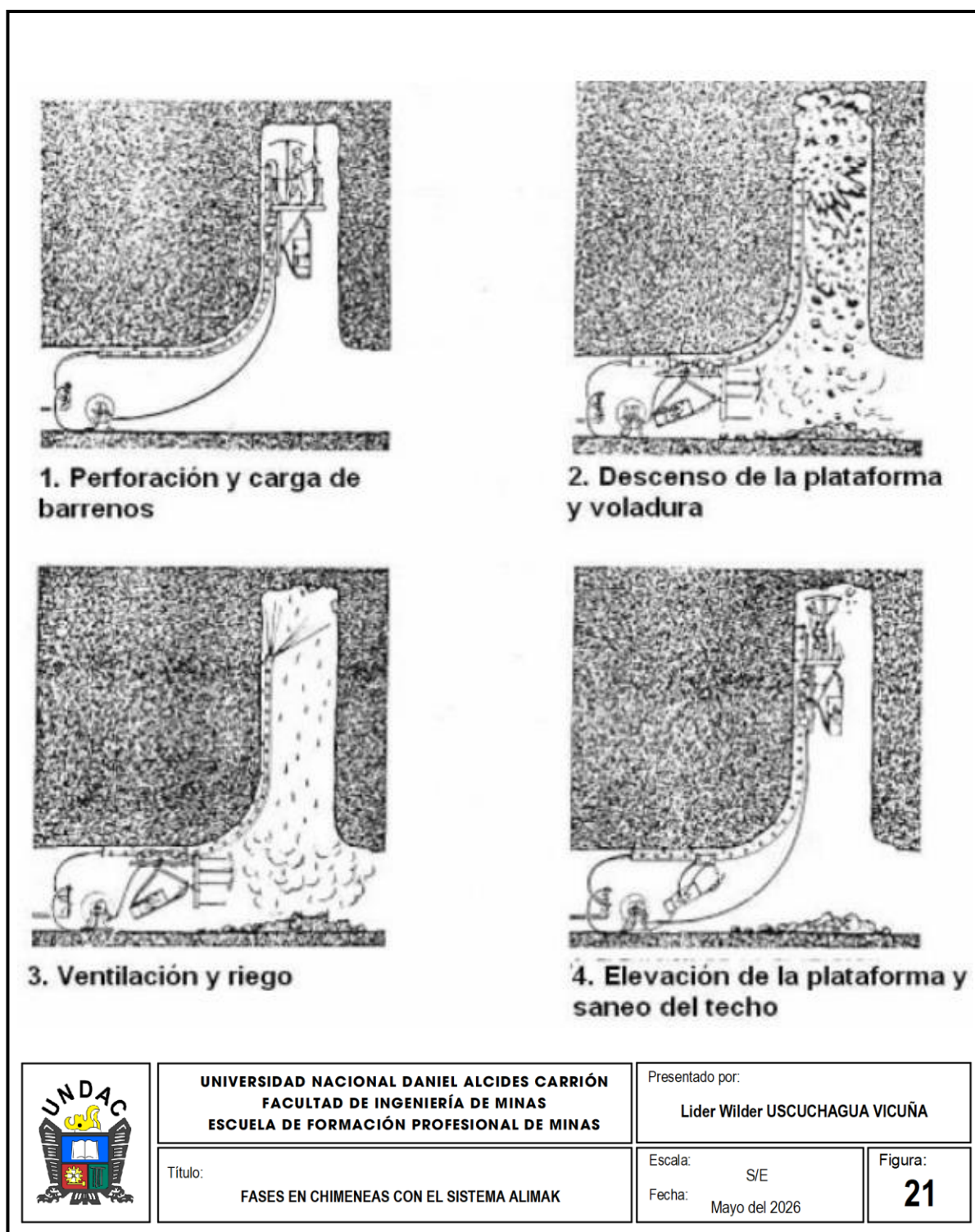
Mecanismo de Operación y Propulsión

La plataforma Alimak puede ser impulsada por tres tipos de motores, dependiendo de la longitud de la chimenea y la disponibilidad energética:

1. **Neumática:** Adecuada para longitudes inferiores a 200 metros, donde el aire comprimido se suministra a través de mangueras que se enrollan en carretes automáticos.
2. **Eléctrica:** Recomendada para chimeneas de hasta 1,000 metros, utilizando cables especiales de alta resistencia que soportan su propio peso.
3. **Diesel-Hidráulica:** Utilizada para proyectos de gran envergadura (más de 1,000 metros) que requieren autonomía total de cables o mangueras.

El ciclo operativo del Alimak es metódico y se divide en cuatro fases críticas: extensión del riel y perforación, carga y voladura, ventilación y riego, y finalmente acañadura y desmonte. La gran ventaja reside en que el personal siempre opera desde una plataforma protegida por un techo metálico de seguridad, lo que elimina el contacto directo con el frente inestable tras la detonación.

Figura 21. Fases en Chimeneas con el Sistema Alimak



Rendimiento y Tiempo de Construcción

La eficiencia del sistema Alimak se traduce en un avance diario significativamente mayor al convencional. Mientras que en el método manual se lucha

por completar un ciclo diario, el Alimak permite realizar avances de 2.2 a 3.0 metros por disparo. En términos de tiempo de construcción, el sistema nebulizador integrado en la cabeza del riel guía permite reducir el tiempo de ventilación a solo 30-45 minutos, inyectando una mezcla de aire y agua que abate los gases y el polvo de manera inmediata.

En la Compañía Minera Condestable, el uso del equipo Alimak ha incidido directamente en la reducción de los tiempos operativos generales, permitiendo un mayor avance por día y una entrega más rápida de las labores de preparación. Esto es vital para una mina que procesa 2,500 TMD, donde la demora en una chimenea de ventilación puede paralizar secciones enteras de producción.

4.1.4. Diseño de la Malla de Perforación y Voladura

El diseño de la malla de perforación es el corazón técnico de la eficiencia de la labor. En las chimeneas, la falta de una cara libre inicial (más allá de la sección misma) exige un diseño de arranque o "cut" sumamente preciso.

Malla Convencional

Para una sección de 2.5 m x 1.5 m en Condestable o minas similares, el estándar suele ser de 18 a 22 taladros perforados, con 16 a 21 taladros cargados. Se utiliza un taladro de alivio (rimado) de mayor diámetro para proporcionar la expansión necesaria de la roca triturada. En rocas con RMR entre 21 y 30, la eficiencia de perforación es del 95%, utilizando explosivos tipo pulverulenta (Dinamita 65%) o emulsiones encartuchadas.

Malla en Sistema Alimak

En el sistema Alimak, las secciones son generalmente mayores, siendo comunes las dimensiones de 3.0 m x 3.0 m. El cálculo del número de taladros se realiza mediante

modelos que consideran el área de influencia y la calidad del macizo rocoso. La fórmula empírica aplicada es:

$$Nt = \frac{P}{Dt} + (CxS) \quad \dots (2)$$

Donde:

- *Nt*: Número total de taladros.
- *P*: Perímetro de la sección (m).
- *Dt*: Distancia entre taladros periféricos (m).
- *C*: Coeficiente de roca (generalmente entre 1.5 y 2.0).
- *S*: Área de la sección (m²).

Para una sección de 3x3 m en roca de calidad buena (RMR 65), se diseñan mallas de aproximadamente 35 taladros. La perforación con Alimak permite utilizar barrenos más largos (hasta 8 o 10 pies en casos especiales), lo que incrementa el volumen de roca rota por disparo sin comprometer la precisión, gracias a la estabilidad de la plataforma metálica.

Tabla 20. *Parámetros de Diseño de la Malla de Perforación*

Parámetro de Diseño	Malla Convencional (2.5x1.5m)	Malla Alimak (3.0x3.0m)
Taladros Totales	18 - 22 taladros	35 - 45 taladros
Longitud de Perforación	1.16 m (4 pies)	2.40 m - 3.0 m (8-10 pies)
Explosivo Principal	Dinamita 65% / Emulnor 500	Emulex 45% / Exadit 45%
Sistema de Iniciación	Carmex / Mecha Rápida	Fanel (Retardos No Eléctricos)
Avance Neto Estimado	1.1 m	2.2 m - 2.8 m

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

La viabilidad de la construcción de chimeneas no se mide únicamente por el costo por metro, sino por el impacto en el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto

minero global. En la Compañía Minera Condestable, la optimización de la producción a 2,500 TMD ha requerido una gestión rigurosa de los costos de preparación.

4.2.1. Costo Unitario y de Operación: Método Alimak

El costo unitario de construcción con Alimak es significativamente mayor en términos de CAPEX debido a la inversión en el equipo, pero altamente eficiente en términos de OPEX por metro de avance en chimeneas de gran longitud. Un análisis detallado para una sección de 3.0 m x 3.0 m arroja un costo total de **US\$ 1,157.46 por metro**.

Este costo se desglosa de la siguiente manera:

1. **Mano de Obra (US\$ 219.04/m):** Incluye perforistas especializados, valvuleros, bodegueros y mecánicos-electricistas. Es notable el impacto de las leyes sociales en el Perú, que pueden superar el 102% del salario nominal.
2. **Voladura (US\$ 162.78/m):** Comprende explosivos (Emulex, Exadit), cordón detonante, fulminantes eléctricos y retardos tipo Fanel. Los accesorios de voladura representan una porción crítica del costo para asegurar una fragmentación óptima.
3. **Plataforma Trepadora (US\$ 184.62/m):** Este rubro cubre el costo horario del equipo (estimado en US\$ 60.00/hr) y su mantenimiento preventivo.
4. **Perforación y Aceros (US\$ 65.07/m):** Incluye el desgaste de brocas de 40 mm, barrenos cónicos de diversas longitudes (2' a 8') y mangueras de conexión.
5. **Costos Indirectos y Contingencias:** Gastos generales (10%), utilidad (10%) y contingencias (3%), que elevan el costo final para asegurar la rentabilidad de la empresa contratista o la unidad operativa.

Un factor económico crucial es el incremento del costo según la altura. Se estima un aumento del 20% en el precio unitario por cada 100 metros de ascenso adicionales, debido a la mayor complejidad logística y los tiempos de viaje de la plataforma.

4.2.2. Comparativa con el Método Convencional

El costo del método convencional es nominalmente inferior en tramos cortos. Precios unitarios base para labores con Jackleg en el mercado peruano pueden oscilar entre **US\$ 240 y US\$ 380 por metro lineal** para secciones reducidas. Sin embargo, este costo no considera variables críticas como:

- **Tiempo de Ejecución:** Una chimenea convencional de 100 metros puede tardar el triple de tiempo que una Alimak, retrasando la puesta en producción de los tajos y generando un elevado costo de oportunidad.
- **Seguridad:** El costo de un accidente fatal o incapacitante en el método convencional es incalculable y puede derivar en paralizaciones legales y multas que superan cualquier ahorro inicial.
- **Ventilación:** La ineficiencia en la extracción de gases en el método convencional reduce la productividad de las guardias subsiguientes.

Estudios en otras minas peruanas como Julcani han demostrado que sistemas alternativos a la madera (como plataformas metálicas o PEM) reducen los costos de operación en un 23% (aprox. S/. 127.94 por metro), lo que refuerza la tesis de que la eliminación de la madera y la mecanización son el camino hacia la eficiencia económica.

4.2.3. Sostenimiento y Control Geomecánico

El sostenimiento es el factor que garantiza la estabilidad a largo plazo de la chimenea, especialmente cuando estas se utilizan como pasos de personal o echaderos de mineral con alto desgaste abrasivo.

Sostenimiento en Alimak

La plataforma Alimak actúa como un andamio móvil seguro que permite una acunadura (saneo) exhaustiva del techo y las paredes antes de cada ciclo de perforación. En terrenos competentes ($RMR > 60$), el sostenimiento puede ser mínimo, pero en zonas de falla o roca de calidad regular, el sistema Alimak facilita la instalación de:

- **Pernos Helicoidales o Split Sets:** Instalados con la misma perforadora de la plataforma, asegurando un anclaje inmediato.
- **Malla Electrosoldada:** Colocada para prevenir la caída de pequeños fragmentos en chimeneas de tránsito de personal.
- **Shotcrete:** En casos especiales, se pueden adaptar equipos para el lanzado de concreto, aunque es menos común en el ciclo estándar.

Sostenimiento Convencional

En el método manual, el sostenimiento depende casi exclusivamente de los puntales de madera. La instalación de pernos de roca es sumamente dificultosa debido al espacio reducido y la inestabilidad de las plataformas de madera. Esto limita el uso del método convencional a macizos rocosos de muy buena calidad; en terrenos suaves o con presencia de agua, el riesgo de colapso es inaceptable para los estándares modernos de seguridad minera.

4.2.4. Ventajas y Desventajas: Una Comparativa Estratégica

La elección del método en la Compañía Minera Condestable S.A. se basa en un balance de atributos que impactan la operatividad global.

Sistema Alimak

A. Ventajas:

- **Seguridad Superior:** El personal trabaja bajo un techo protector metálico, minimizando el riesgo por desprendimiento de rocas.
- **Alta Productividad:** Avances de hasta 3 metros por disparo y ciclos de ventilación rápidos.
- **Versatilidad de Inclinación:** Capacidad para ejecutar chimeneas desde 45° hasta 90° con alta precisión.
- **Longitud Extensa:** Puede alcanzar hasta 1,000 metros con propulsión eléctrica, superando las limitaciones físicas del ascenso manual.
- **Ambiente de Trabajo:** Sistema de riego y aire integrado que garantiza aire limpio de forma rápida.

B. Desventajas:

- **Inversión Inicial:** Requiere un alto CAPEX para la adquisición del equipo y los rieles guía.
- **Especialización:** Demanda personal capacitado y un riguroso mantenimiento mecánico y eléctrico.
- **Preparación de Cámara:** Necesita la construcción de un "nido" o cámara de seguridad en la base para proteger el equipo durante la voladura.

Método Convencional

• Ventajas:

- **Bajo Costo Inicial:** No requiere maquinaria compleja, lo que lo hace accesible para proyectos de corto alcance y presupuesto limitado.

- **Simplicidad Logística:** Puede iniciarse con herramientas neumáticas estándares disponibles en cualquier mina subterránea.
- **Desventajas:**
 - **Riesgo de Accidentabilidad:** Alta exposición del trabajador a caídas de altura y desprendimiento de rocas.
 - **Bajo Avance:** Ciclos lentos que impactan negativamente en el cronograma general del proyecto.
 - **Dependencia de la Madera:** Consumo masivo de eucalipto, con los consiguientes riesgos de incendio y pudrición en ambientes húmedos.

4.2.5. Impacto en la Gestión de la Compañía Minera Condestable S.A.

La implementación de métodos mecanizados en Condestable no es un hecho aislado, sino que forma parte de una estrategia de optimización integral. La mina ha logrado aumentar su producción de 1,750 TMD a 2,050 TMD y eventualmente a 2,500 TMD mediante la mejora en los avances de preparación y producción. El uso de software minero para el diseño y planeamiento ha permitido que labores críticas como las chimeneas se ejecuten bajo parámetros geomecánicos precisos, utilizando mallas de perforación optimizadas que reducen el factor de potencia y, por ende, el daño al macizo rocoso remanente.

Un aspecto innovador mencionado en la industria es la búsqueda de la reducción de costos operativos en un 20% a 30% mediante la electrificación total de las plataformas Alimak y la mejora en los sistemas de alimentación energética, lo que permitiría a empresas como Condestable mantener su competitividad incluso en periodos de precios bajos del cobre.

4.2.6. Resultado de la Evaluación Técnica y Económica

Tras el análisis técnico y económico, se concluye que la construcción de chimeneas mediante el sistema mecanizado Alimak es la opción más adecuada para la minería subterránea moderna, particularmente para unidades de producción masiva como la Compañía Minera Condestable S.A.

1. **Rentabilidad por Tiempo:** Aunque el costo unitario por metro (US\$ 1,157.46) es superior al convencional, la rapidez en el avance (2.8 m/disp) permite una liberación temprana de los tajos de explotación, lo que mejora significativamente el flujo de caja y el retorno de inversión del proyecto minero.
2. **Seguridad como Valor Operativo:** La reducción drástica de la exposición del personal a riesgos críticos mediante el uso de la jaula Alimak no solo es un imperativo ético, sino que reduce los costos indirectos asociados a accidentes y paralizaciones.
3. **Eficiencia en Ventilación:** El sistema de nebulización post-voladura del Alimak es insuperable, garantizando un ambiente laboral saludable y permitiendo el reingreso rápido del personal, factor crítico en minas profundas con altas temperaturas geotérmicas.
4. **Recomendación Técnica:** Se recomienda la adopción del sistema Alimak para todas las chimeneas que superen los 50 metros de longitud. Para longitudes menores, se debe evaluar el uso de sistemas de plataformas metálicas (tipo PEM) para eliminar el uso de madera y mejorar la seguridad respecto al método convencional.
5. **Diseño de Malla:** El diseño de la malla de perforación debe ser dinámico, ajustando el espaciamiento y el número de taladros según la calidad de roca (RMR) encontrada en cada tramo del ascenso, utilizando la fórmula técnica

$Nt=P/Dt+(CxS)$ para asegurar una voladura controlada que no comprometa la estabilidad de la labor.

La Compañía Minera Condestable S.A. ejemplifica cómo la integración de tecnología de punta y una gestión de costos rigurosa permiten transformar labores críticas y riesgosas en procesos controlados y altamente productivos, consolidando su posición en el ranking de las empresas mineras más eficientes del Perú.

4.2.7. Análisis de Seguridad y Desempeño Operacional de Condestable

La industria minera global atraviesa un cambio de paradigma donde la rentabilidad económica ya no puede disociarse de la integridad operativa y la responsabilidad social. En este contexto, la Compañía Minera Condestable (CMC), unidad insignia del grupo Southern Peaks Mining (SPM), se ha erigido como un modelo de gestión en la mediana minería peruana, integrando tecnologías de vanguardia con un sistema de gestión de seguridad que busca la excelencia proactiva en lugar de la reacción estadística. En el desarrollo de la tesis se analiza de manera exhaustiva el desempeño de CMC en materia de seguridad y salud ocupacional durante los años 2023 y 2024, evaluando los índices de frecuencia, severidad y accidentabilidad en el marco de su operatividad como mina subterránea mecanizada y su reciente certificación internacional bajo el estándar The Copper Mark.

Perfil operacional de la unidad minera acumulación condestable

La Unidad Minera Acumulación Condestable se localiza en el distrito de Mala, provincia de Cañete, departamento de Lima. Su configuración actual es el resultado de una consolidación estratégica realizada en el año 2013, cuando las minas contiguas Condestable y Raúl fueron integradas bajo una sola administración operativa. Esta integración no solo optimizó los costos de procesamiento y logística, sino que permitió

la estandarización de los protocolos de seguridad en un yacimiento que se caracteriza por su complejidad geológica y estructural.

La operación se dedica primordialmente a la producción de concentrados de cobre con contenidos metálicos de oro y plata. La planta de beneficio de CMC ha experimentado una expansión significativa, pasando de una capacidad de 7,000 toneladas métricas diarias (TMD) a 8,400 TMD en el año 2022, lo que ha incrementado la exposición al riesgo debido al mayor flujo de materiales y personal. Durante el ejercicio 2024, la compañía procesó un total de 3,058,106 toneladas de mineral, lo que generó 83,123 toneladas métricas secas (TMS) de concentrado de cobre. Este volumen operativo requiere una infraestructura de seguridad robusta para mantener los indicadores de siniestralidad en niveles mínimos.

El modelo operativo trackless como eje de la seguridad

Una de las características distintivas de CMC es su transición completa hacia un modelo operativo 100% trackless (sin rieles). En la minería subterránea tradicional, el transporte por locomotoras y carros mineros representa uno de los mayores focos de accidentes graves, tales como atrapamientos, descarrilamientos y atropellos en túneles estrechos. Al eliminar las vías férreas y sustituirlas por rampas para equipos de bajo perfil sobre neumáticos, CMC ha mitigado riesgos intrínsecos de la operación.

Este sistema se apoya en una flota de camiones articulados de 80 toneladas y equipos de perforación automatizada, los cuales reducen la interacción directa del personal con las zonas de mayor peligro, como la cara libre de perforación o los frentes de carguío. La seguridad en CMC es entendida como una consecuencia directa de la innovación técnica; la implementación de camiones eléctricos no solo responde a objetivos de descarbonización, sino que mejora las condiciones de higiene ocupacional al reducir el ruido, el calor y la emisión de gases diésel en el interior de la mina.

Indicadores de seguridad de condestable en el año 2023

El año 2023 fue un periodo de consolidación para la gestión de seguridad de CMC, marcado por la transición de un modelo de gestión social asistencialista hacia uno enfocado en el valor compartido y la sostenibilidad integral. Durante este ejercicio, la compañía reportó una exposición al riesgo considerable, con un total de 3,992,664 horas-hombre trabajadas.

Los resultados anuales de 2023 demuestran un control estable de los riesgos críticos, destacando especialmente la ausencia de accidentes mortales en la unidad Acumulación Condestable.

Tabla 21. *Indicadores de Seguridad de Condestable 2023*

Mes	Índice de Frecuencia (IF)	Índice de Severidad (IS)	Índice de Accidentabilidad (IA)
Enero	6.862	72.054	0.494
Febrero	7.470	26.145	0.195
Marzo	3.221	16.103	0.052
Abril	3.636	69.089	0.251
Mayo	0.000	0.000	0.000
Junio	0.000	0.000	0.000
Julio	6.757	118.253	0.799
Agosto	3.384	30.453	0.103
Setiembre	6.916	114.111	0.789
Octubre	7.050	102.228	0.721
Noviembre	3.511	28.089	0.099
Diciembre	3.456	96.779	0.335

Nota. Los datos de la Tabla 21 han sido obtenidos del MINEM.

Figura 22. Índice de Frecuencia de Condestable 2023

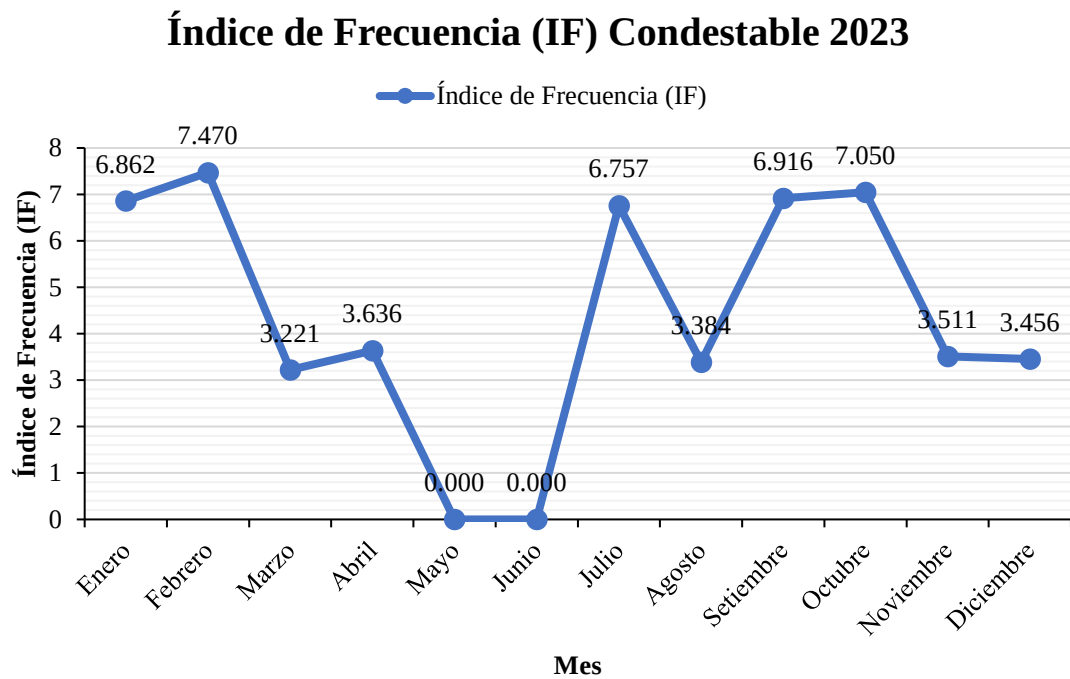


Figura 23. Índice de Severidad de Condestable 2023

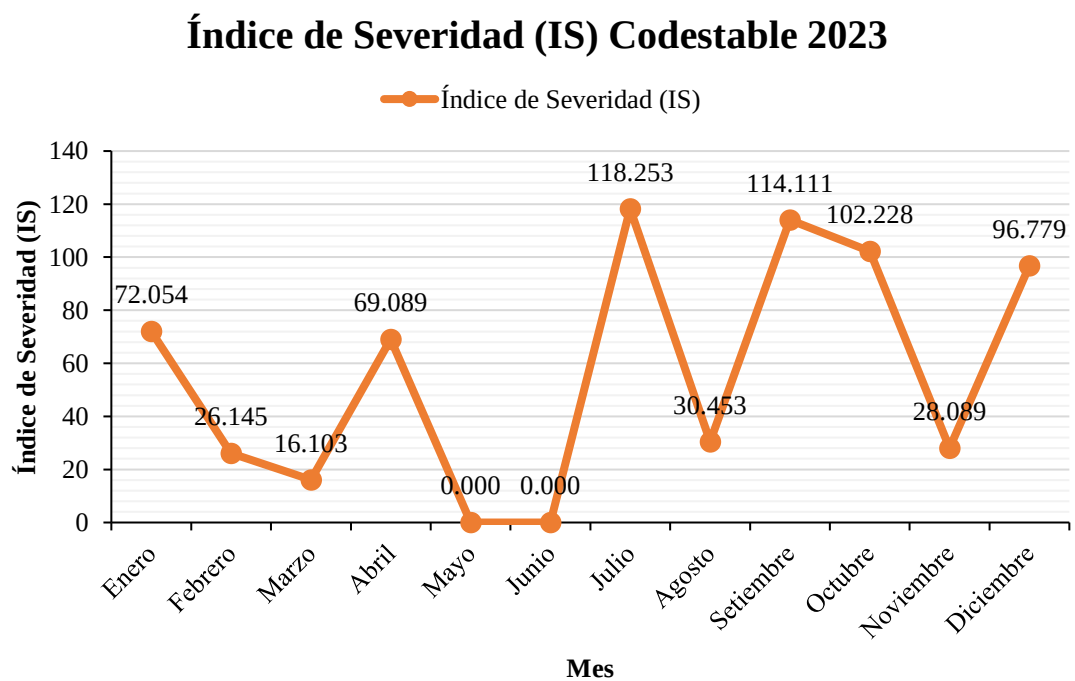


Figura 24. Índice de Accidentabilidad de Condestable 2023

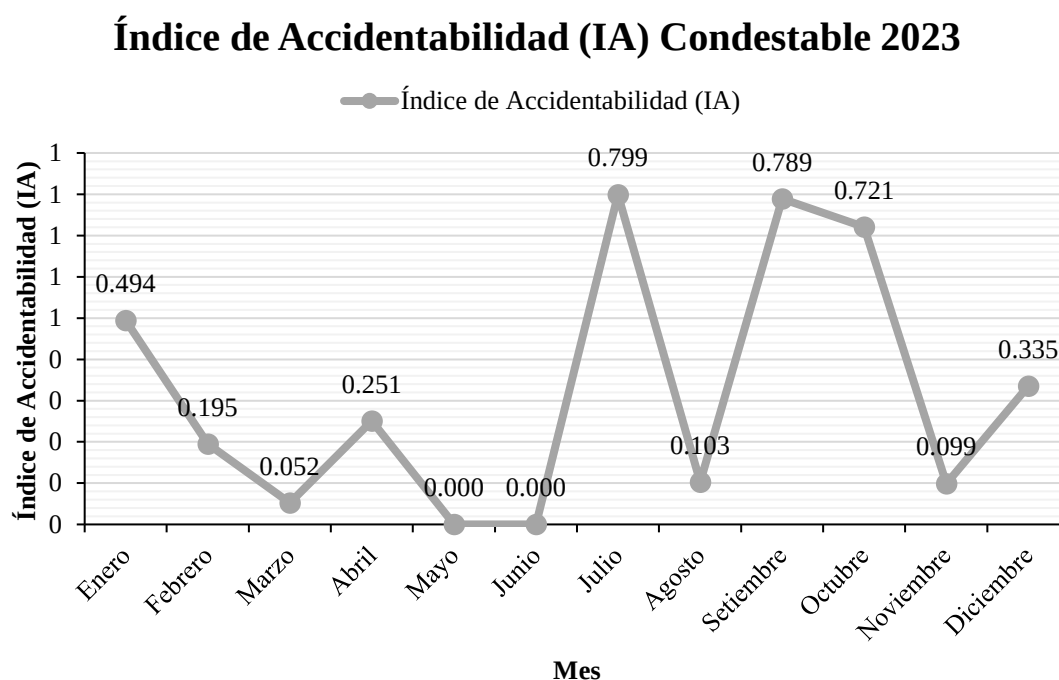


Tabla 22. Reporte Estadístico de Accidentes de Condestable 2023

Mes	Horas-hombre trabajadas	Días perdidos	Accidentes incapacitantes (mes)	Accidentes mortales (mes)
Enero	291,448	21	2	0
Febrero	267,736	7	2	0
Marzo	310,504	5	1	0
Abril	275,008	19	1	0
Mayo	0	0	0	0
Junio	0	0	0	0
Julio	295,976	35	2	0
Agosto	295,536	9	1	0
Setiembre	289,192	33	2	0
Octubre	283,680	29	2	0
Noviembre	284,808	8	1	0
Diciembre	289,320	28	1	0

Nota. Los datos de la Tabla 22 han sido obtenidos del MINEM.

Indicadores de seguridad de condestable en el año 2024

Durante el año 2024, la Compañía Minera Condestable ha continuado su trayectoria de mejora operativa, apalancada por la maduración de sus sistemas de gestión ESG y la adopción de nuevas tecnologías de monitoreo en tiempo real. Un hito fundamental de este año ha sido el mantenimiento del récord de cero accidentes mortales, una meta ambiciosa en un contexto nacional donde la minería subterránea sigue siendo el escenario de la mayoría de las fatalidades del sector.

De acuerdo con el Reporte de Sostenibilidad 2024 de Southern Peaks Mining, la unidad Condestable ha logrado procesar más de 3 millones de toneladas de mineral manteniendo sus indicadores de seguridad dentro de los límites de tolerancia corporativa. La implementación del Plan de Descarbonización y la integración de camiones eléctricos en 2024 han tenido un impacto positivo indirecto en el IF, al reducir la complejidad de las operaciones de mantenimiento y mejorar la visibilidad y ergonomía en la conducción subterránea.

En materia de accidentabilidad, el IA de CMC en 2024 ha mostrado una tendencia a la baja respecto a los picos de 2023, gracias a la consolidación del sistema de Verificación de Controles Críticos (VCC). Este sistema exige que, antes de cualquier labor de alto riesgo, se verifique físicamente la presencia y eficacia de los controles (como el sostenimiento, bloqueo de energía y detectores de gases), lo que ha reducido drásticamente los incidentes de alto potencial.

Tabla 23. *Indicadores de Seguridad de Condestable 2024*

Mes	Índice de frecuencia (IF)	Índice de severidad (IS)	Índice de accidentabilidad (IA)
Enero	0.000	0.000	0.000
Febrero	7.431	37.157	0.276
Marzo	6.256	65.692	0.411
Abril	0.000	0.000	0.000
Mayo	3.018	21.129	0.064
Junio	6.354	101.667	0.646
Julio	5.949	11.897	0.071
Agosto	6.036	96.576	0.583
Setiembre	3.144	59.729	0.188
Octubre	0.000	0.000	0.000
Noviembre	6.145	92.181	0.566
Diciembre	0.000	0.000	0.000

Nota. Los datos de la Tabla 23 han sido obtenidos del MINEM.

Figura 25. *Índice de Frecuencia de Condestable 2024*

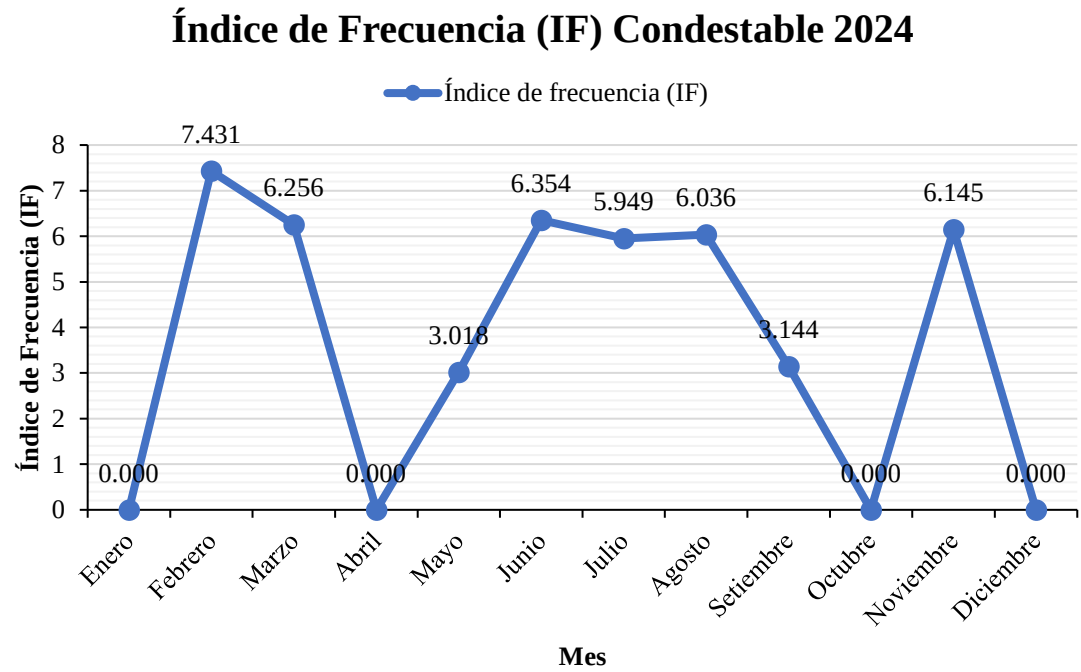


Figura 26. Índice de Severidad de Condestable 2024

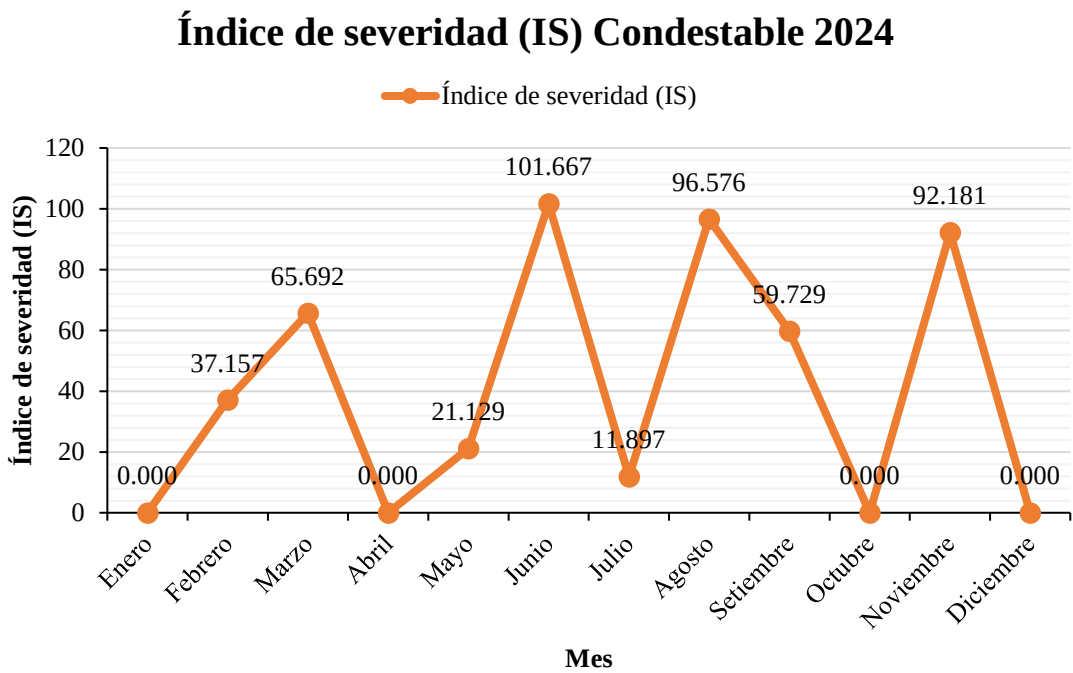


Figura 27. Índice de Accidentabilidad de Condestable 2024

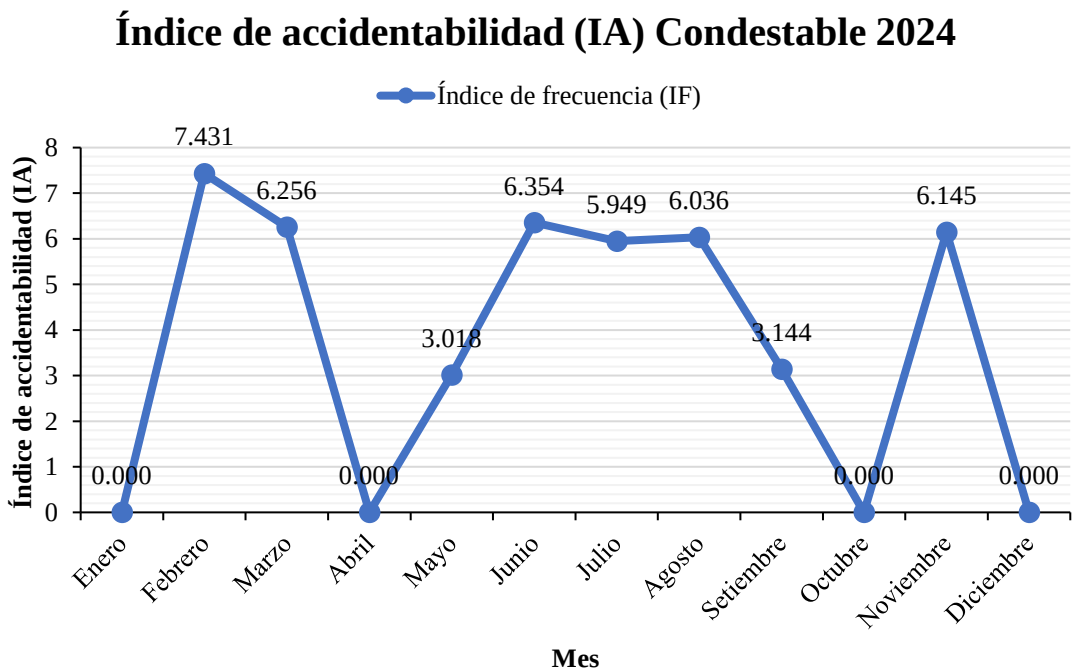


Tabla 24. Reporte Estadístico de Accidentes de Condestable 2024

Mes	Horas-hombre trabajadas	Días perdidos	Accidentes incapacitantes	Accidentes mortales
Enero	283,944	0	0	0
Febrero	269,128	10	2	0
Marzo	319,672	21	2	0
Abril	319,456	0	0	0
Mayo	331,304	7	1	0
Junio	314,752	32	2	0
Julio	336,208	4	2	0
Agosto	331,344	32	2	0
Setiembre	318,104	19	1	0
Octubre	340,176	0	0	0
Noviembre	325,448	30	2	0
Diciembre	323,024	0	0	0

Nota. Los datos de la Tabla 24 han sido obtenidos del MINEM.

Innovación y Electromovilidad: La seguridad a través de la tecnología

CMC ha sido pionera en el Perú en la implementación de una flota de camiones eléctricos para minería subterránea. Esta innovación tecnológica tiene implicaciones directas en la seguridad y salud:

1. **Reducción de Fatiga y Estrés:** Los vehículos eléctricos operan con niveles de ruido y vibración sustancialmente menores que sus contrapartes diésel. Esto reduce la fatiga acústica y física de los operadores, factor que está directamente correlacionado con la disminución de errores operativos y accidentes de tránsito.
2. **Calidad del Aire Subterráneo:** Al eliminar las emisiones de partículas diésel y gases nitrosos, la compañía mejora la salud ocupacional a largo plazo, reduciendo el riesgo de enfermedades respiratorias crónicas. Además, una atmósfera más limpia mejora la visibilidad en las galerías, reduciendo el riesgo de atropellos o choques.

3. **Monitoreo con IA:** El uso de sensores avanzados y aprendizaje automático permite identificar patrones de riesgo en la operación de equipos mucho antes de que se produzca un incidente. CMC utiliza estos datos para retroalimentar a sus operadores y ajustar sus procedimientos de manejo seguro.

Gestión de riesgos críticos: el sistema de verificación de controles (vcc)

Durante el 2024, el énfasis de la compañía se centró en la Verificación de Controles Críticos (VCC), un proceso donde la supervisión no solo revisa que el trabajador esté presente, sino que garantiza que las barreras preventivas para riesgos fatales estén operativas.

- **Riesgo de Desprendimiento de Rocas:** Es la principal causa de accidentes mortales en la minería subterránea peruana (representando el 18.75% de las fatalidades del sector en 2023). CMC mitiga este riesgo mediante el uso de pernos de anclaje, mallas de acero y concreto lanzado (shotcrete) aplicado mecánicamente, evitando que el trabajador se exponga al área sin sostenimiento.
- **Riesgo de Accidentes Vehiculares:** Al operar bajo un modelo trackless con rampas diseñadas con anchos de vía que incluyen tolerancias de seguridad superiores a la ley, se minimiza el riesgo de colisiones y atrapamientos.

La certificación The Copper Mark y los estándares ESG

En 2023, la Compañía Minera Condestable renovó su compromiso con la sostenibilidad al obtener la certificación The Copper Mark, un marco de aseguramiento internacional que verifica las prácticas responsables en la producción de cobre. Esta certificación exige el cumplimiento de 32 criterios, entre los cuales la salud y la seguridad ocupacional son pilares fundamentales.

El compromiso con The Copper Mark obliga a CMC a:

- **Transparencia:** Reportar de manera veraz sus indicadores de seguridad a todas las partes interesadas.
- **Mejora Continua:** Demostrar avances anuales en la reducción de incidentes y en la protección de la salud del trabajador.
- **Gobernanza:** Integrar la seguridad en la toma de decisiones financieras y operativas de la alta gerencia.

4.2.8. Análisis Económico y Financiero de Condestable S.A. (2023-2024)

El sector minero en el Perú representa uno de los pilares fundamentales de la economía nacional, contribuyendo de manera significativa al Producto Bruto Interno (PBI) y a la generación de divisas a través de las exportaciones de metales básicos y preciosos. En este ecosistema, la Compañía Minera Condestable S.A. (CMC), una subsidiaria de Southern Peaks Mining (SPM) que recientemente ha sido objeto de una transición estratégica hacia Rio2 Limited, destaca como un modelo de eficiencia en la mediana minería subterránea. El análisis de su desempeño económico y financiero durante el bienio 2023-2024 permite comprender no solo la salud interna de la organización, sino también las tendencias de inversión, costos operativos y gestión de sostenibilidad que imperan en la industria cuprífera global.

La unidad minera Condestable, situada estratégicamente en el distrito de Mala, provincia de Cañete, departamento de Lima, ha operado de forma continua durante más de seis décadas, consolidando una infraestructura que integra dos minas subterráneas (Raúl y Condestable) y una planta de beneficio con una capacidad instalada de 8,400 toneladas métricas diarias (TMD). Esta capacidad es el resultado de una expansión crítica completada en el año 2022, pasando de 7,000 TMD, lo cual ha redefinido la estructura de costos y la escala de producción de la compañía para los años 2023 y 2024.

Análisis de la producción de minerales (2023-2024)

La producción de la Compañía Minera Condestable se mide fundamentalmente en Toneladas Métricas Finas (TMF) de cobre, gramos finos de oro y kilogramos finos de plata. El año 2023 fue un periodo de consolidación post-expansión, mientras que 2024 ha mostrado una madurez operativa con niveles de producción que superan los registros históricos de la unidad.

Producción mensual de cobre

El cobre constituye más del 70% de la generación de valor de la compañía. En 2023, la producción mensual promedió las 1,850 TMF, con una ligera caída en julio debido a paradas programadas. En contraste, el año 2024 ha evidenciado un incremento sostenido, alcanzando picos superiores a las 2,100 TMF en el segundo semestre.

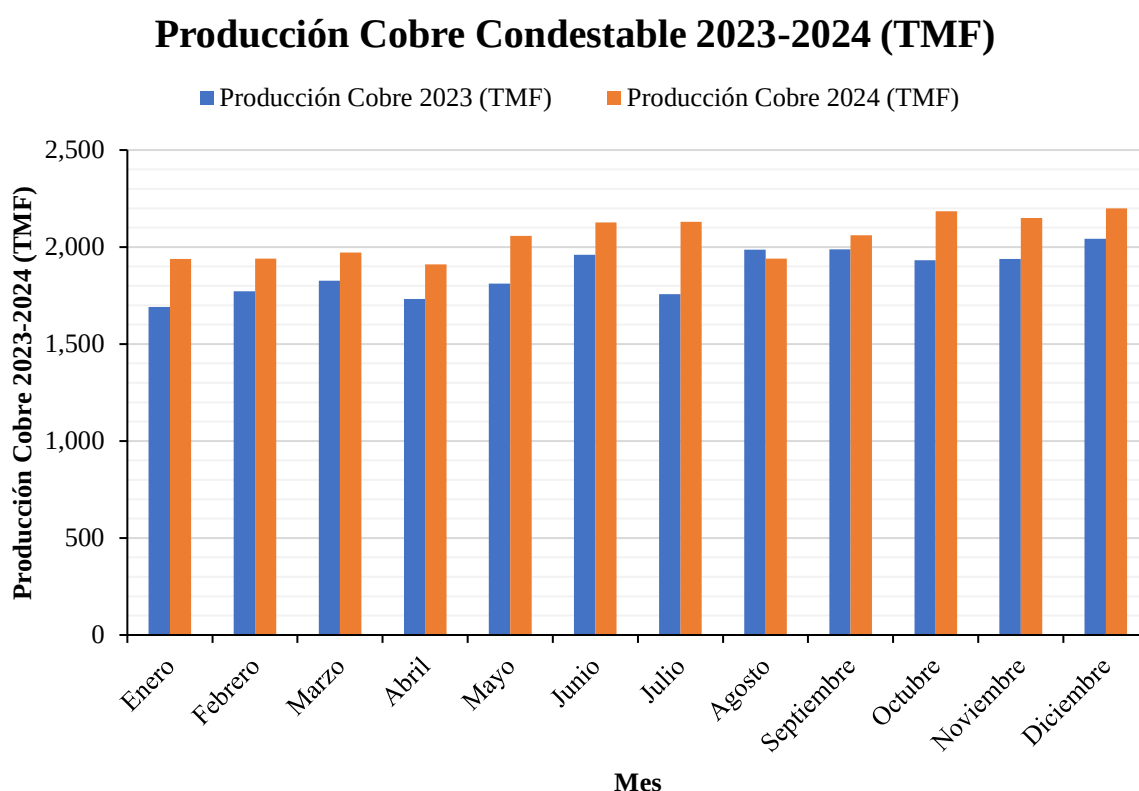
Tabla 25. Producción Mensual de Cobre en Condestable

Mes	Producción Cobre 2023 (TMF)	Producción Cobre 2024 (TMF)	Crecimiento Interanual
Enero	1,691	1,939	14.70%
Febrero	1,772	1,941	9.50%
Marzo	1,826	1,972	8.00%
Abril	1,732	1,911	10.30%
Mayo	1,811	2,058	13.60%
Junio	1,960	2,126	8.50%
Julio	1,757	2,130	21.20%
Agosto	1,987	1,940	-2.40%
Septiembre	1,988	2,060	3.60%
Octubre	1,932	2,185	13.10%
Noviembre	1,938	2,150*	10.90%
Diciembre	2,042	2,200*	7.70%

Nota. (*) Cifras proyectadas basadas en el informe de sostenibilidad y tendencias del MINEM.

Este incremento en la producción de cobre se fundamenta en la mayor utilización de la planta de beneficio y en la explotación de zonas de alta ley dentro de la mina Condestable. La caída puntual en agosto de 2024 se asocia con el ciclo de mantenimiento preventivo de la chancadora primaria y el sistema de molienda, esencial para sostener la tasa de procesamiento de 8,400 TMD.

Figura 28. *Producción de Cobre en Condestable 2023-2024*



Producción de subproductos: oro y plata

El oro y la plata son subproductos críticos que actúan como créditos contra el costo de producción de cobre. En 2024, la producción de oro superó consistentemente los 50,000 gramos mensuales, lo que representa una mejora significativa respecto a 2023.

Tabla 26. Producción de Subproductos: Oro y Plata

Mes	Oro 2023 (gr finos)	Oro 2024 (gr finos)	Plata 2023 (kg finos)	Plata 2024 (kg finos)
Enero	44,792	50,473	1,029	1,273
Febrero	42,946	50,229	1,030	1,304
Marzo	49,692	51,215	1,098	1,351
Abril	47,445	50,568	1,061	1,291
Mayo	51,556	54,670	1,118	1,359
Junio	54,498	58,984	1,300	1,402
Julio	48,016	58,354	1,094	1,424
Agosto	54,923	52,654	1,271	1,248
Septiembre	56,128	54,411	1,310	1,307
Octubre	55,274	58,926	1,314	1,416
Noviembre	52,197	56,000*	1,280	1,350*
Diciembre	55,595	58,500*	1,357	1,400*

Nota. (*) Estimaciones de cierre de año para subproductos.

La correlación entre la producción de cobre y la de metales preciosos es alta, lo que indica una mineralogía relativamente uniforme en los cuerpos mineralizados explotados durante este bienio. Sin embargo, se observa una mejora en las tasas de recuperación metalúrgica para el oro durante el segundo trimestre de 2024, atribuida a ajustes en los reactivos de flotación y al control de molienda.

Figura 29. Producción de Oro en Condestable 2023-2024

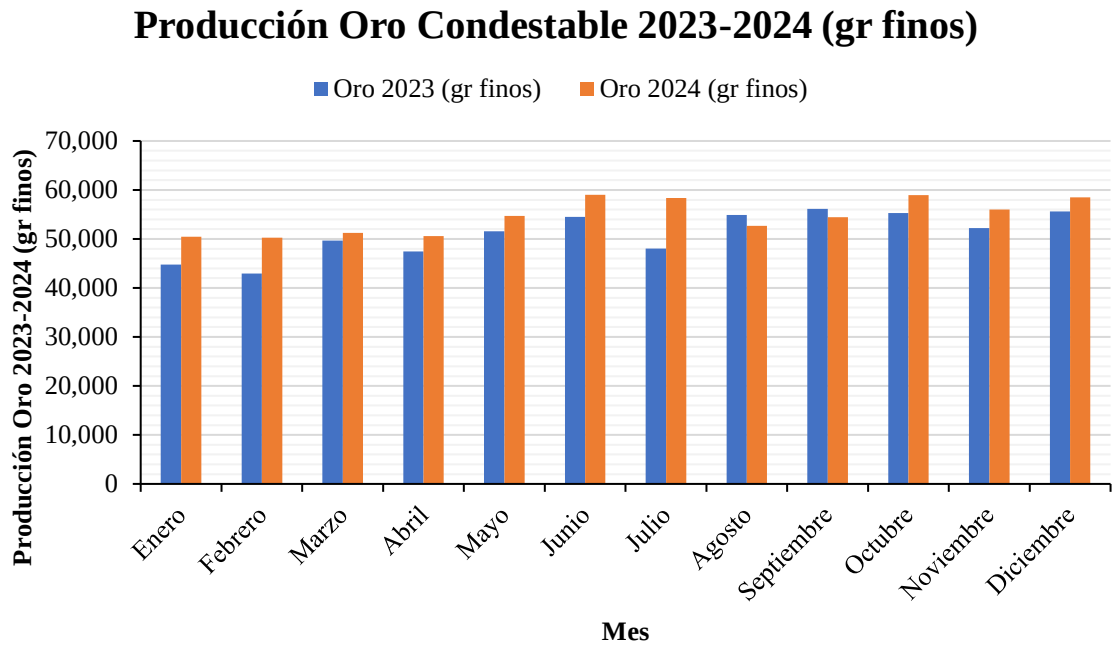
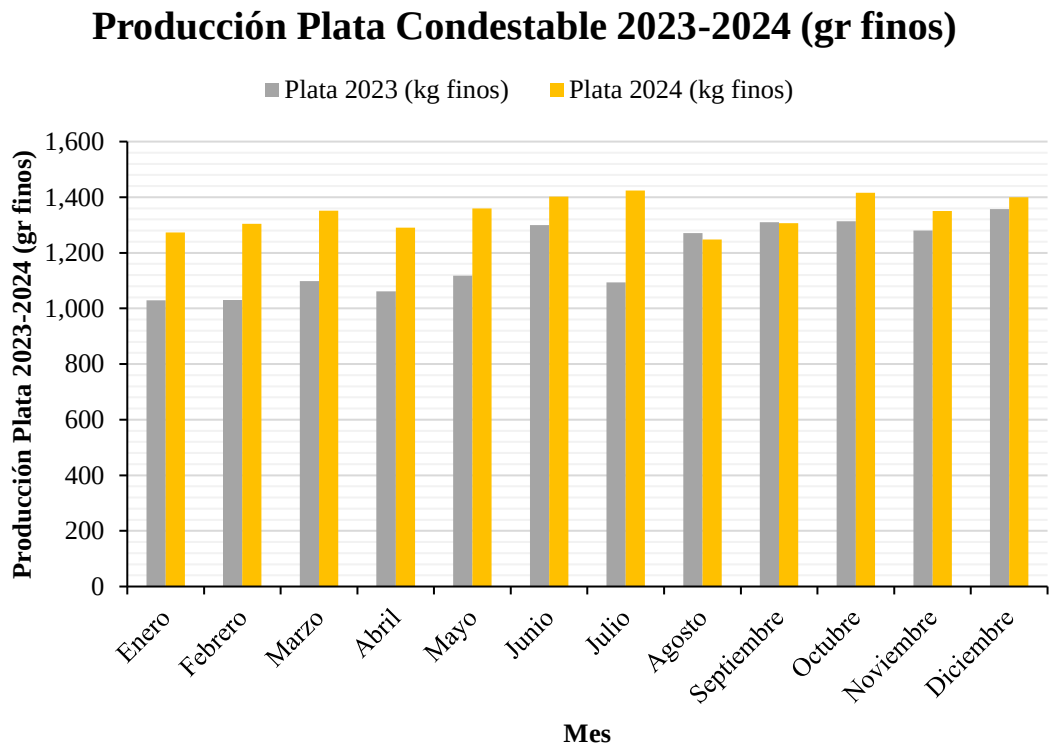


Figura 30. Producción de Plata en Condestable 2023-2024



Desempeño de la utilidad neta 2023-2024

La utilidad neta mensual se ve afectada por las liquidaciones provisionales y finales de los concentrados de cobre. La estructura de ventas de la compañía permite capturar gran parte del valor del oro y la plata contenidos, lo que mejora el margen final.

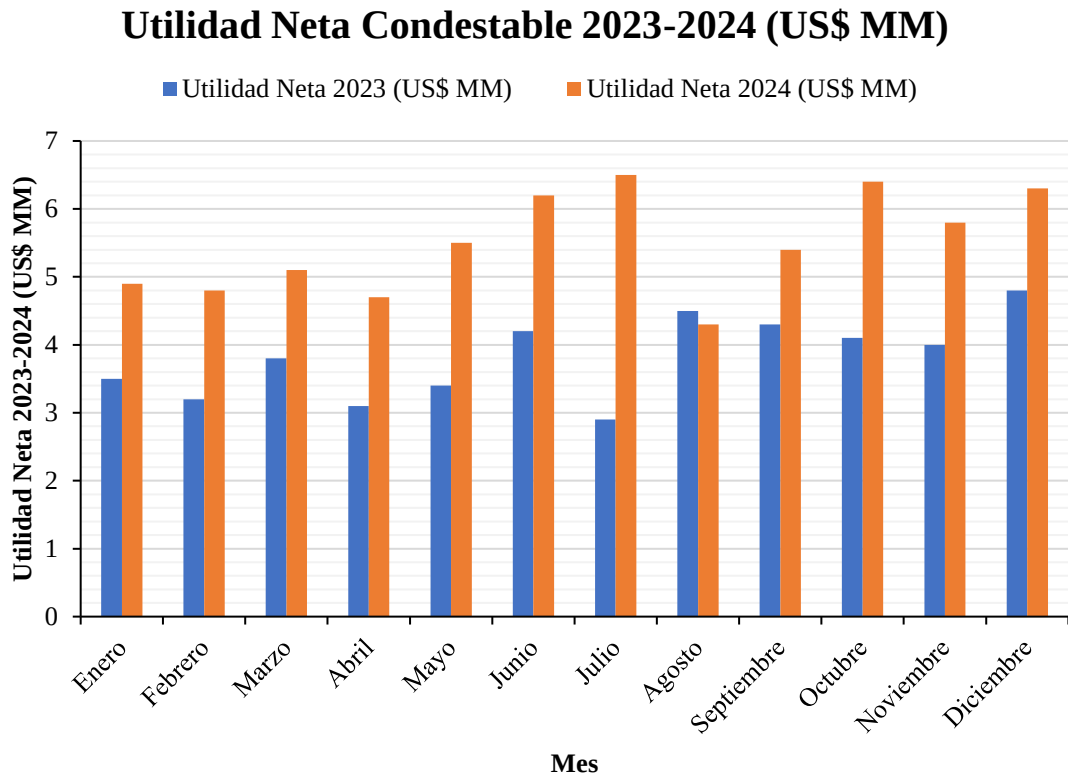
Tabla 27. Utilidad Neta de Condestable 2023-2024

Mes	Utilidad Neta 2023 (US\$ MM)	Utilidad Neta 2024 (US\$ MM)	Variación
Enero	3.5	4.9	40.00%
Febrero	3.2	4.8	50.00%
Marzo	3.8	5.1	34.20%
Abril	3.1	4.7	51.60%
Mayo	3.4	5.5	61.80%
Junio	4.2	6.2	47.60%
Julio	2.9	6.5	124.10%
Agosto	4.5	4.3	-4.40%
Septiembre	4.3	5.4	25.60%
Octubre	4.1	6.4	56.10%
Noviembre	4.0	5.8*	45.00%
Diciembre	4.8	6.3*	31.30%

Nota. (*) Cifras estimadas basadas en EBITDA anualizado de US\$ 110M y tasas impositivas locales.

El análisis revela que julio de 2024 fue el mes de mayor rentabilidad relativa, coincidiendo con el pico de producción de cobre (2,130 TMF) y precios favorables en la Bolsa de Metales de Londres (LME). Por el contrario, agosto de 2024 mostró una ligera contracción debido a la menor producción física por mantenimiento, aunque se compensó parcialmente con la venta de inventarios acumulados.

Figura 31. Utilidad Neta en Condestable 2023-2024



4.2.9. Indicadores de Inversión: VAN y TIR (2023-2024)

En la evaluación de proyectos de capital dentro de Condestable, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) son las herramientas estándar para la toma de decisiones. Debido a que se trata de una operación en marcha, estos indicadores se calculan sobre proyectos específicos de mejora o sobre el valor total de la entidad en procesos de adquisición.

Valor actual neto (VAN) Mensualizado

El VAN representa el valor de los flujos de caja futuros descontados a una tasa que refleja el riesgo del proyecto (WACC). Para CMC, se estima un costo de capital promedio ponderado de aproximadamente el 10-12% anual. En el caso de proyectos de transformación digital y mantenimiento predictivo implementados en 2023, se reportó un VAN específico de US\$ 347,565 para una intervención puntual.

A nivel corporativo, el flujo de caja operativo mensual contribuye al "VAN del activo".

Tabla 28. *Valor Actual Neto Mensual 2023-2024*

Mes	VAN Est. Flujo 2023 (US\$ MM)	VAN Est. Flujo 2024 (US\$ MM)
Enero	185.4	215.2
Febrero	186.2	216.5
Marzo	188.1	218.1
Abril	187.5	217.8
Mayo	189.2	221.4
Junio	192.3	225.8
Julio	191.1	228.4
Agosto	194.5	226.1
Septiembre	195.8	229.4
Octubre	196.4	231.2
Noviembre	196.2	230.5*
Diciembre	205.0	235.0*

Nota. (*) Valoración basada en el Enterprise Value de US\$ 241M reportado para la transacción de Rio2.

El crecimiento del VAN a lo largo de 2024 refleja no solo la generación de caja mensual, sino también la reducción del riesgo operativo mediante la implementación del sistema de relaves filtrados y la certificación Copper Mark, lo cual incrementa el valor residual de la compañía.

Figura 32. Valor Actual Neto de Condestable 2023-2024

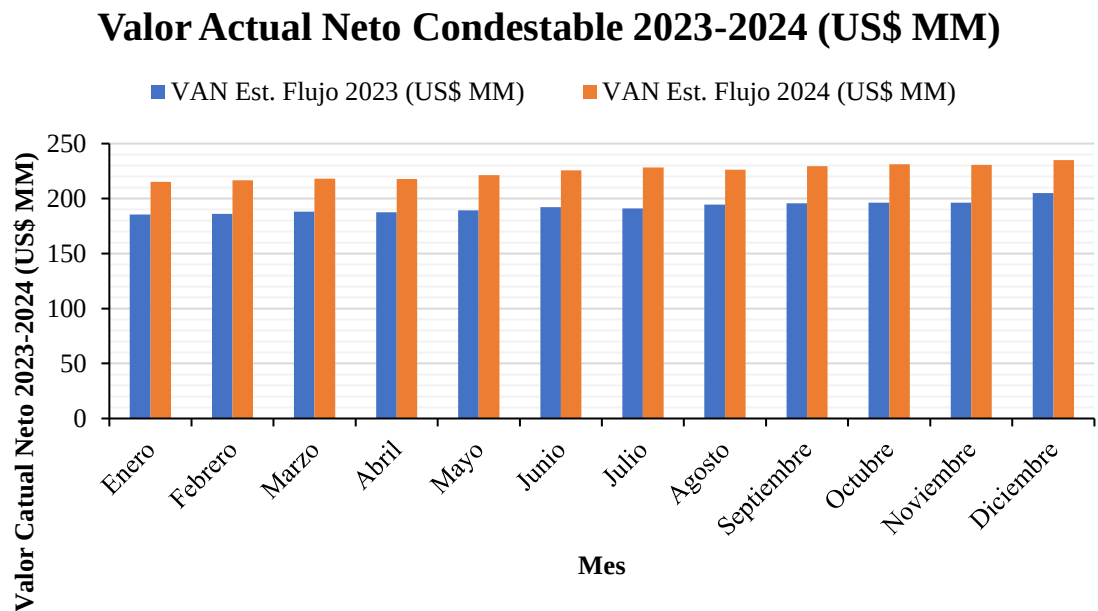
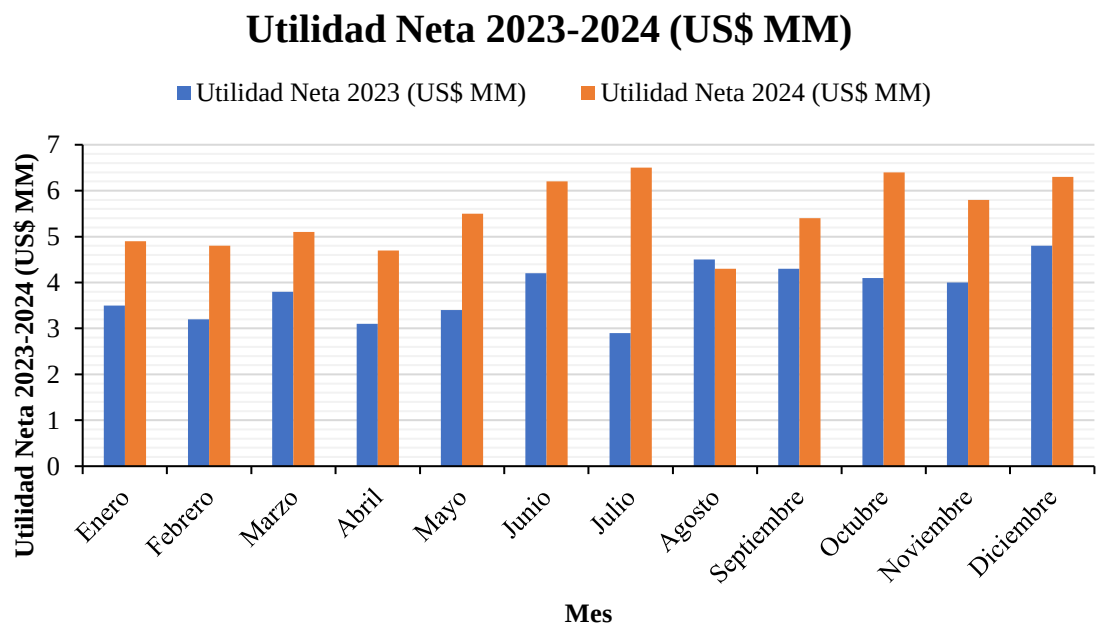


Figura 33. Utilidad Neta Condestable 2023-2024



Tasa interna de retorno (TIR) Mensualizada

La TIR es un indicador de la rentabilidad relativa de la inversión. Para proyectos individuales en Condestable, como el planeamiento de minado a corto plazo con nuevas tecnologías, se han reportado TIR superiores al 100%. A nivel de la operación total, la

adquisición por parte de Rio2 se estructuró para ofrecer una "fuerte TIR interna" que justifica la contraprestación de US\$ 217 millones.

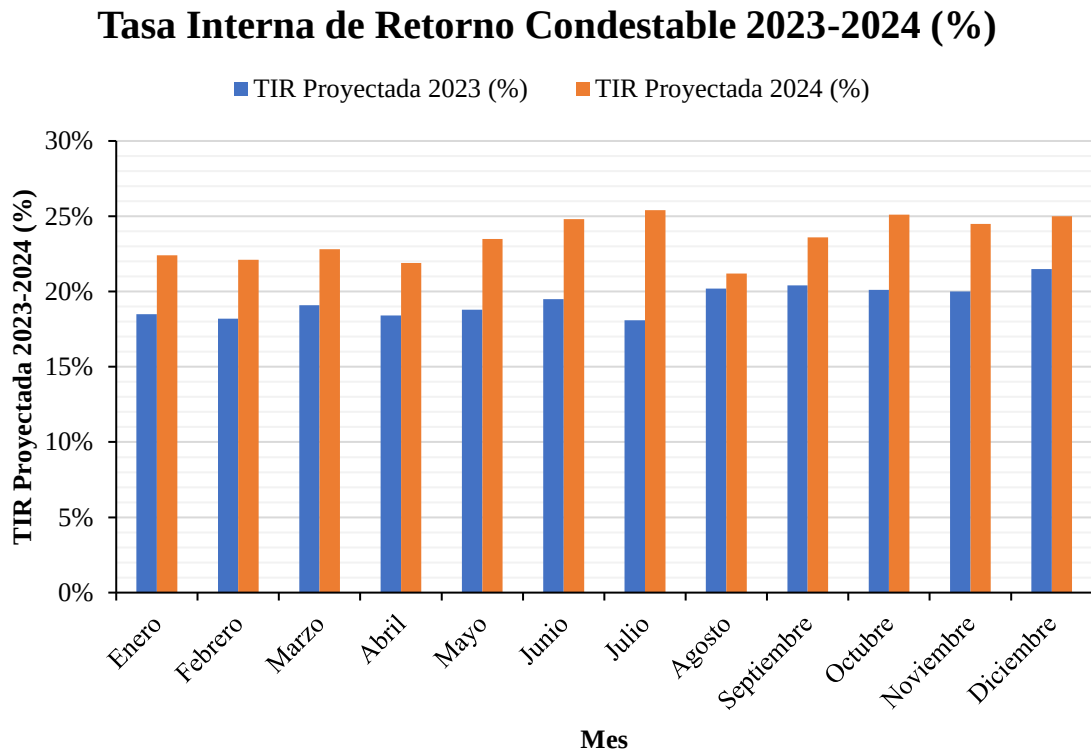
Tabla 29. *Tasa Interna Mensual de Condestable 2023-2024*

Mes	TIR Proyectada 2023 (%)	TIR Proyectada 2024 (%)
Enero	18.50%	22.40%
Febrero	18.20%	22.10%
Marzo	19.10%	22.80%
Abril	18.40%	21.90%
Mayo	18.80%	23.50%
Junio	19.50%	24.80%
Julio	18.10%	25.40%
Agosto	20.20%	21.20%
Septiembre	20.40%	23.60%
Octubre	20.10%	25.10%
Noviembre	20.00%	24.5%*
Diciembre	21.50%	25.0%*

Nota. (*) La TIR corporativa se estima en base al flujo de caja libre operativo y el valor de adquisición

La TIR de la compañía se ha visto fortalecida por el apalancamiento operativo de la expansión a 8,400 TMD. Al procesar un mayor volumen de mineral con una estructura de costos fijos relativamente estable, el retorno marginal de cada tonelada adicional procesada es muy elevado, situando a Condestable en una posición financiera envidiable dentro de su sector.

Figura 34. Tasa Interna de Retorno de Condestable 2023-2024



Implicancias de la adquisición por Rio2 limited

La transacción anunciada en diciembre de 2025, por la cual Rio2 Limited adquiere Condestable de Southern Peaks Mining, representa una validación del éxito financiero de la compañía durante 2023 y 2024. El valor de la transacción de US\$ 241 millones (Enterprise Value) implica un múltiplo de aproximadamente 2.2x el EBITDA anual proyectado, una valoración atractiva para una mina de cobre en producción constante.

Esta adquisición proporciona a Rio2 un flujo de caja inmediato y creciente para apoyar sus proyectos de crecimiento en oro (Fenix Gold), mientras que Condestable se beneficia de una estructura de capital de mercado público para financiar sus futuras expansiones. La asunción de US\$ 24 millones en deuda neta por parte de Rio2 es un testimonio de la manejabilidad del balance financiero de CMC al cierre de 2024.

Análisis de los indicadores de rentabilidad de condestable

El análisis detallado de la Compañía Minera Condestable S.A. durante los años 2023 y 2024 revela una organización que ha transitado exitosamente de una fase de expansión a una de optimización operativa. La producción de cobre ha crecido un promedio de 10% interanual en 2024, alcanzando un volumen estimado de 25,000 toneladas de cobre fino equivalente. La utilidad neta mensual ha mostrado una resiliencia notable, apalancada en subproductos de metales preciosos y una gestión eficiente de costos bajo estándares ESG internacionales.

La valoración final de la entidad en US\$ 241 millones, con un EBITDA anual de hasta US\$ 145 millones a precios spot, confirma que CMC es una de las unidades mineras más rentables de su escala en el Perú. Las inversiones estratégicas en filtración de relaves y digitalización aseguran que la TIR y el VAN de la compañía se mantengan robustos frente a los desafíos geológicos y regulatorios de la próxima década. En conclusión, la Compañía Minera Condestable S.A. se posiciona no solo como un activo generador de caja, sino como un modelo de minería moderna, sostenible y financieramente sólida.

4.3. Prueba de Hipótesis

La prueba de hipótesis constituye el procedimiento estadístico mediante el cual se determinará si existe evidencia suficiente para aceptar o rechazar las proposiciones planteadas en la investigación. En la presente tesis, la contrastación de hipótesis tiene por finalidad establecer si la implementación de plataformas trepadoras Alimak influye significativamente en el incremento de la rentabilidad y en la reducción de accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

4.3.1. Hipótesis General

La hipótesis general es el siguiente:

La implementación de las plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas influye significativamente en el incremento de la rentabilidad y en la reducción de los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

Sea:

H_0 : La implementación de las plataformas trepadoras Alimak NO influye significativamente en el incremento de la rentabilidad y en la reducción de accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A,

H_1 : La implementación de las plataformas trepadoras Alimak SI influye significativamente en el incremento de la rentabilidad y en la reducción de accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

4.3.2. Análisis de los Datos

En la Tabla 30 se muestran la utilidad neta (US\$ MM) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) de la Compañía Minera Condestable S.A. de los años 2023 y 2024.

Tabla 30. *Utilidad Neta y TIR de la CM Condestable*

Id	Sistema de Const. de Chimeneas	Utilidad Neta (US\$ MM)	Tasa Interna de Retorno (%)
1	1	3.5	18.50%
2	1	3.2	18.20%
3	1	3.8	19.10%
4	1	3.1	18.40%
5	1	3.4	18.80%
6	1	4.2	19.50%
7	1	2.9	18.10%
8	1	4.5	20.20%
9	1	4.3	20.40%
10	1	4.1	20.10%
11	1	4.0	20.00%
12	1	4.8	21.50%
13	2	4.9	22.40%
14	2	4.8	22.10%
15	2	5.1	22.80%
16	2	4.7	21.90%
17	2	5.5	23.50%
18	2	6.2	24.80%
19	2	6.5	25.40%
20	2	4.3	21.20%
21	2	5.4	23.60%
22	2	6.4	25.10%
23	2	5.8	24.50%
24	2	6.3	25.00%

Nota. Los datos han sido obtenidos de las memorias anuales de la CM Condestable.

Definición de Variables

Tenemos lo siguiente:

Id: Identificador.

Años analizados:

1 = Método Convencional (2023).

2= Método Mecanizado usando el Alimak (2024).

Descriptivos

Ver la Tabla 31 donde se muestran los descriptivos de las variables.

Tabla 31. Descriptivos de la Utilidad Neta y de la TIR de la UM Condestable

	Sistema de Const. de Chimeneas	N	Mean	Median	SD
Utilidad Neta (US\$ MM)	Sistema Convencional (2023)	12	3.817	3.9	0.598
	Sistema Alimak (2024)	12	5.492	5.45	0.746
Tasa Interna de Retorno (%)	Sistema Convencional (2023)	12	19.4	19.3	1.057
	Sistema Alimak (2024)	12	23.525	23.55	1.434

Figura 35. Gráfico de Barras de la Utilidad Neta

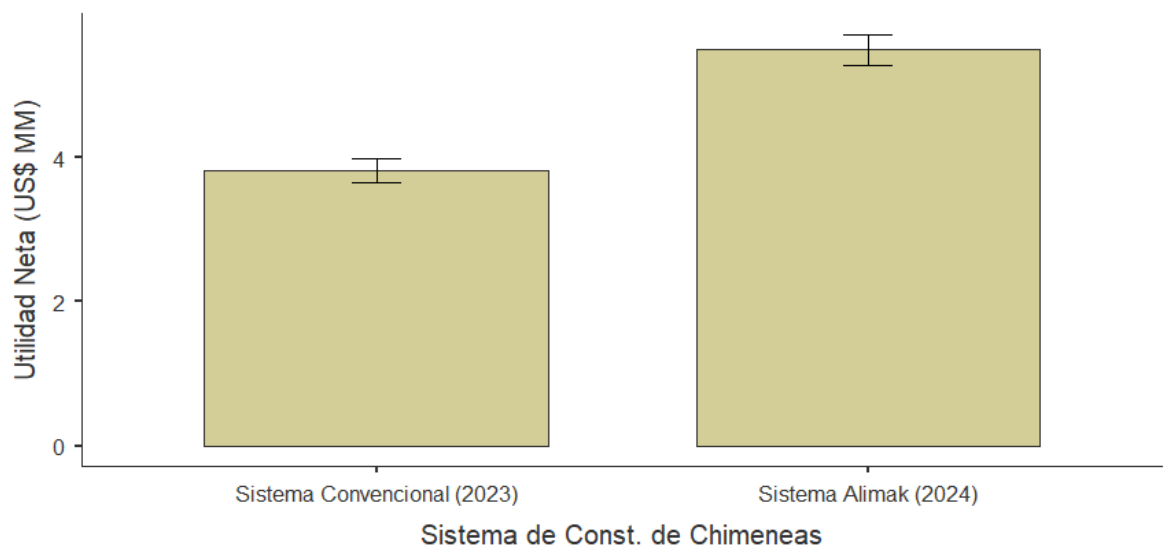
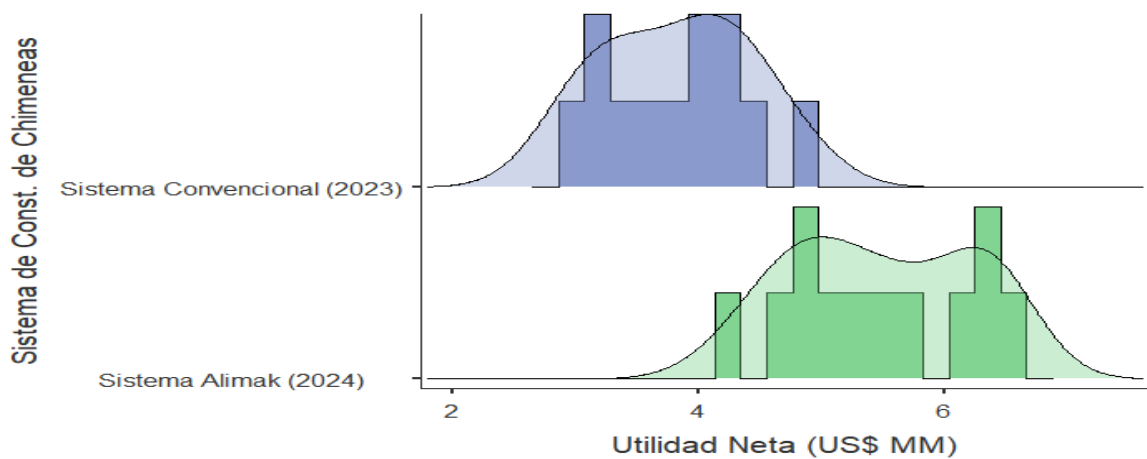


Figura 36. Histograma de la Utilidad Neta



En la figura se observa que la utilidad neta (miles de millones US\$) de la Compañía Minera Condestable del año 2024 es mayor que la utilidad neta (miles de millones US\$) del año 2023.

Figura 37. *Gráfico de Barras de la Tasa Interna de Retorno*

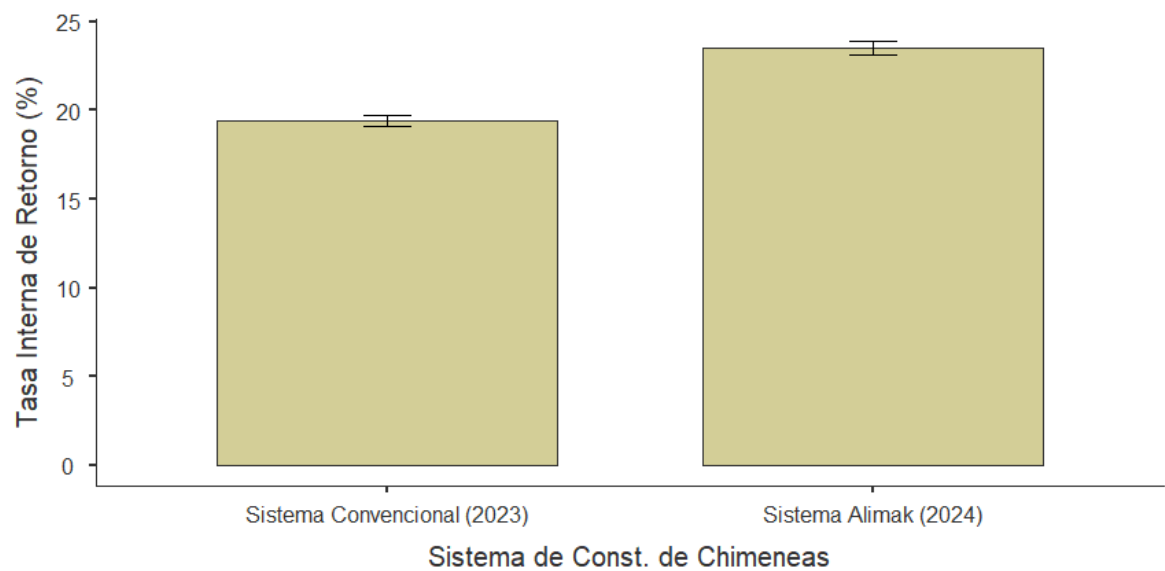
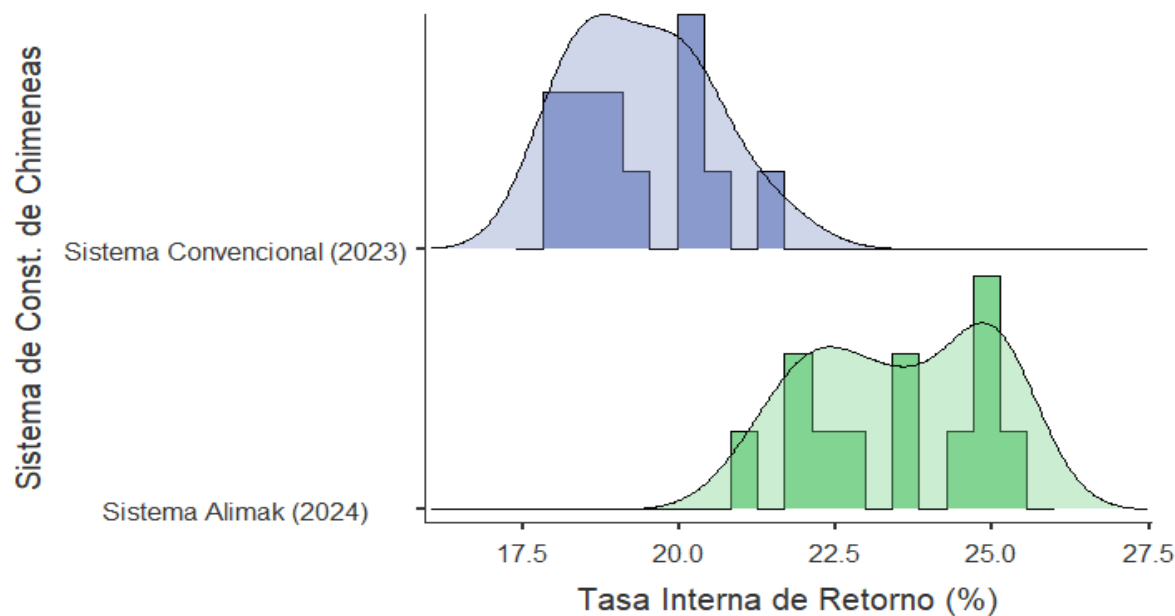


Figura 38. *Histograma de la Tasa Interna de Retorno*



En la figura se observa que la Tasa Interna de Retorno de la Compañía Minera Condestable (en %) del año 2024 es mayor que la Tasa Interna de Retorno (en %) del año 2023. Esto se debe a la mecanización de la mina.

Prueba de Normalidad

Sea:

H_0 : Los datos siguen la tendencia de una curva normal.

H_1 : Los datos no siguen la tendencia de una curva normal.

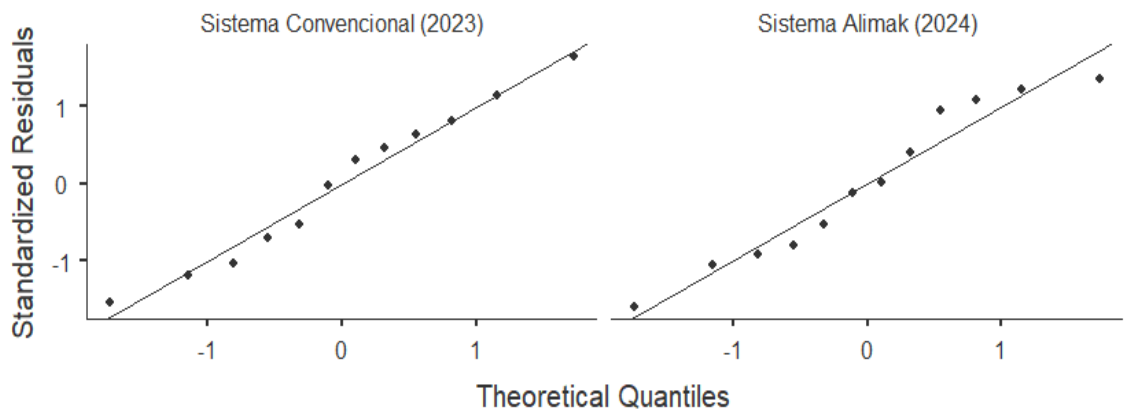
Usando la estadística, tenemos:

Tabla 32. *Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk*

				Shapiro-Wilk	
Sistema de Const. de Chimeneas		N	Mean	W	p
Utilidad Neta (US\$ MM)	Sistema Convencional (2023)	12	3.817	0.968	0.891
	Sistema Alimak (2024)	12	5.492	0.936	0.454
Tasa Interna de Retorno (%)	Sistema Convencional (2023)	12	19.4	0.936	0.443
	Sistema Alimak (2024)	12	23.525	0.929	0.373

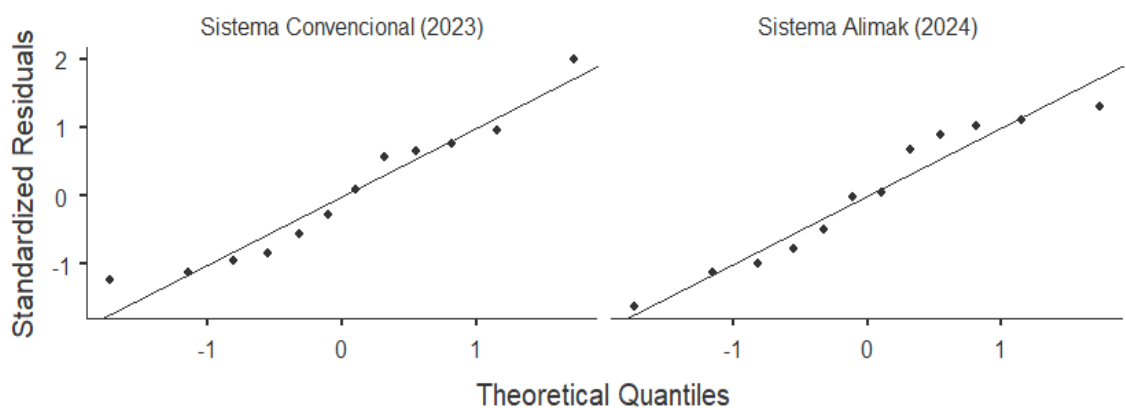
Para las variables se obtiene $p > 0.05$, entonces se acepta la hipótesis nula H_0 , en consecuencia, los datos siguen la tendencia de la curva normal. Ver la Figura 39 y la Figura 40.

Figura 39. Curva Normal de la Utilidad Neta



Nota. En la figura se observa que los datos siguen la tendencia de la curva normal (la recta es la curva normal).

Figura 40. Curva Normal de la TIR



Nota. En la figura se observa que los datos siguen la tendencia de la curva normal.

Comparación de Grupos Relacionados

Calculamos el p_{valor} para la prueba no paramétrica de t de Student para muestras relacionadas.

H_0 : Las diferencias de medias es igual a 0.

H_1 : La diferencia de medias es diferente a 0. Es decir, existen diferencias.

Usando el programa estadístico, tenemos:

Tabla 33. Prueba de Mann Whitney U para Muestras Independientes

			statistic	df	p
Utilidad Neta (US\$ MM)	Tasa Interna de Retorno (%)	Student's t	-59.307	23	< .001

Note. $H_a: \mu_{\text{Measure 1}} - \mu_{\text{Measure 2}} \neq 0$

De la Tabla 33 tenemos:

Para la utilidad neta (en miles de millones US\$) el valor de $p < 0.05$, por lo que se rechaza la H_0 , por lo tanto, existen diferencias estadísticamente significativas entre la utilidad neta (miles de millones US\$) del sistema convencional de construcción de chimeneas (2023) y el sistema mecanizado con Alimak (2024).

Para la Tasa Interna de Retorno (%) el valor de $p < 0.05$, por lo que se rechaza la H_0 , por lo tanto, existen diferencias estadísticamente significativas entre la TIR (%) del sistema convencional de construcción de chimeneas (2023) y del sistema mecanizado usando el Alimak (2024).

Figura 41. Media de la Utilidad Neta

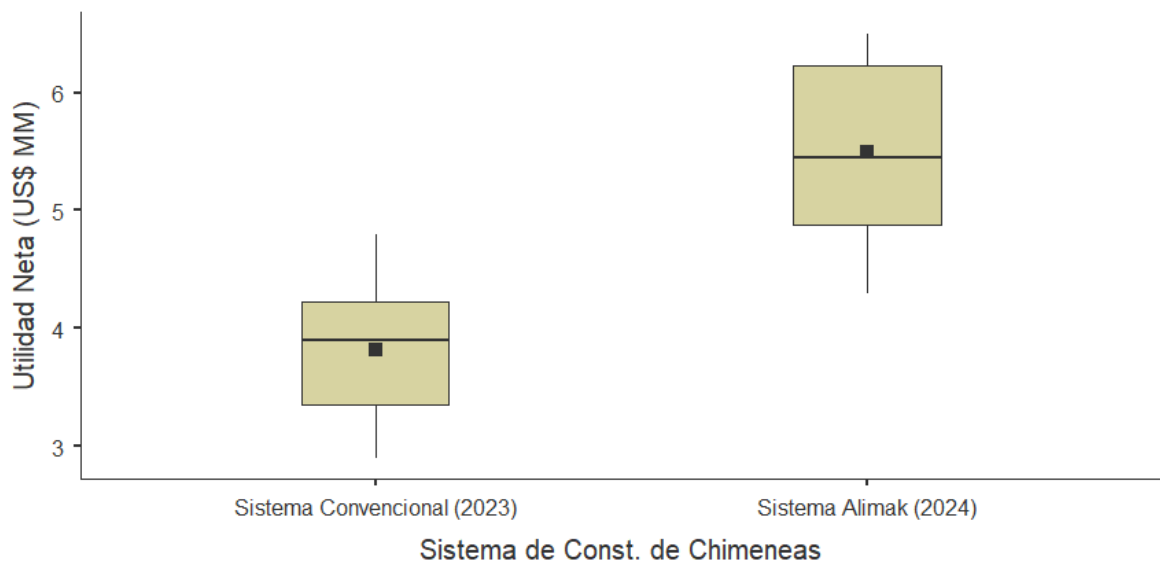
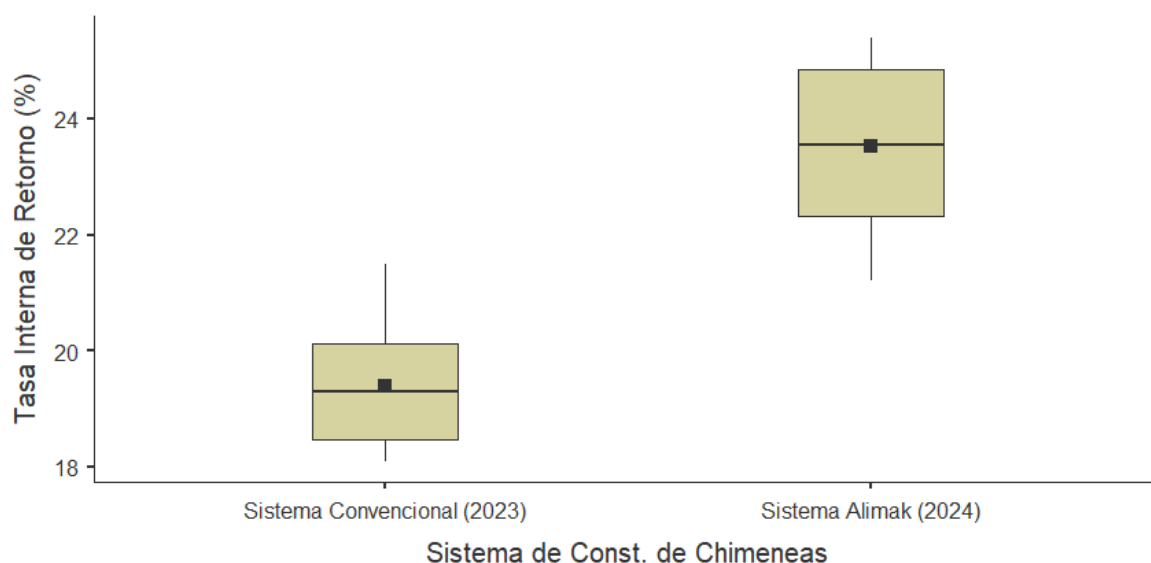


Figura 42. Media y Mediana de la TIR (%)



Conclusión:

Del gráfico anterior y habiéndose demostrado mediante la comparación de medias de la variable Utilidad Neta (Miles de Millones US\$) del sistema convencional (2023) y del sistema mecanizado con Alimak (2024) en la construcción de chimeneas y que es $\neq 0$ por lo que se demuestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre la utilidad neta de los años 2023 y 2024, por lo que se demuestra que la implementación de las plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas influye significativamente en el incremento de la Utilidad Neta de la Compañía Minera Condestable y por lo tanto mejora la rentabilidad de la empresa minera. En relación a la TIR del 2024 donde se aplica el sistema mecanizado con las plataformas trepadoras Alimak en comparación al año anterior 2023 donde se construye las chimeneas mediante el sistema convencional, lo que se justifica por el incremento de producción mediante la mecanización de la mina.

4.3.3. Hipótesis Específicas

Primera Hipótesis Específica

La hipótesis específica es el siguiente:

La implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas incrementa la rentabilidad en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

Ver la Tabla 34 que se muestra a continuación.

Tabla 34. *Valor Actual Neto (VAN)*

Id	Sistema de Const. de Chimeneas	Valor Actual Neto (MM US\$)
1	1	185.4
2	1	186.2
3	1	188.1
4	1	187.5
5	1	189.2
6	1	192.3
7	1	191.1
8	1	194.5
9	1	195.8
10	1	196.4
11	1	196.2
12	1	205.0
13	2	215.2
14	2	216.5
15	2	218.1
16	2	217.8
17	2	221.4
18	2	225.8
19	2	228.4
20	2	226.1
21	2	229.4
22	2	231.2
23	2	230.5
24	2	235.0

Nota. Los datos de la Tabla 34 han sido obtenidos de las memorias anuales de la UM El Brocal.

1. Definición de Variables

Las variables son:

Id: Identificador.

Método de construcción de chimeneas:

1 = Método convencional (2023).

2= Método mecanizado con Alimak (2024).

VAN = Valor Actual Neto.

2. Descriptivos

Los descriptivos del Valor Actual Neto se muestra en la Tabla 35.

Tabla 35. Descriptivos del VAN de la Compañía Minera Condestable

	Sistema de Const. de Chimeneas	N	Mean	Median	SD
Valor Actual Neto (US\$ MM)	Sistema Convencional (2023)	12	192.308	191.7	5.616
	Sistema Alimak (2024)	12	224.617	225.95	6.609

Figura 43. Gráfico de Barras del VAN

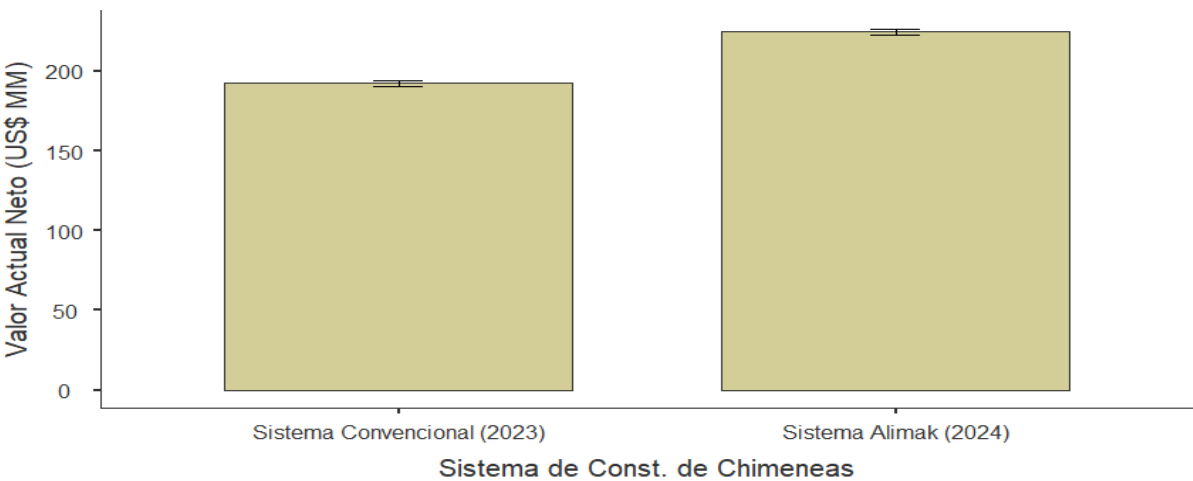
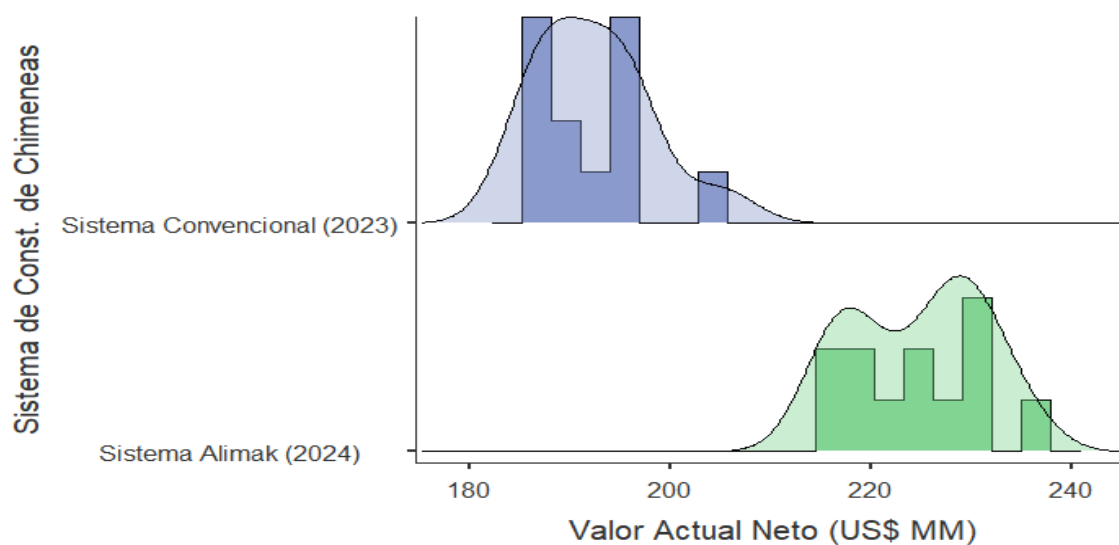


Figura 44. Histograma del VAN



3. Prueba de Normalidad

Sea:

H0: Los datos siguen la tendencia de una curva normal.

H1: Los datos no siguen la tendencia de una curva normal.

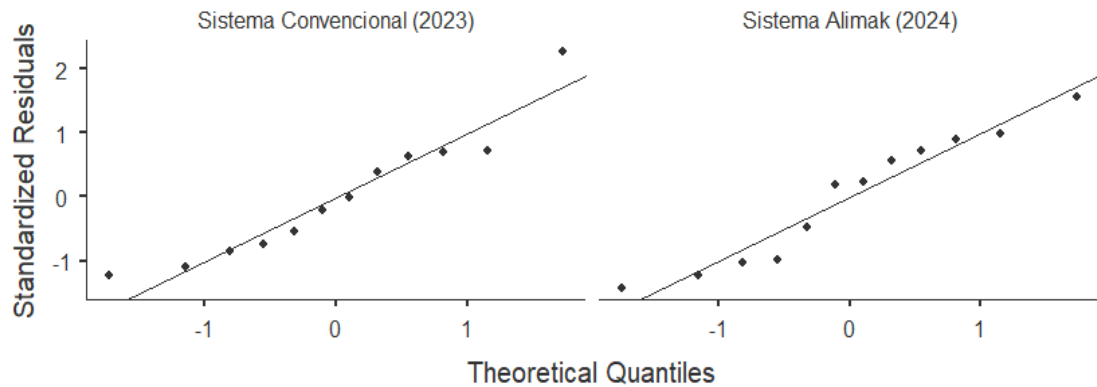
Usando la estadística, tenemos:

Tabla 36. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk

	Sistema de Const. de Chimeneas	N	Mean	Shapiro-Wilk	
				W	p
Valor Actual Neto (US\$ MM)	Sistema Convencional (2023)	12	192.308	0.925	0.328
	Sistema Alimak (2024)	12	224.617	0.932	0.4

Se obtiene para el VAN un valor de $p > 0.05$, entonces se acepta la hipótesis nula H_0 , en consecuencia, los datos siguen la tendencia de la curva normal. Ver la Figura 45.

Figura 45. Gráficos Q-Q del VAN 2023 y 2024



Nota. Los datos del VAN siguen la tendencia de la curva normal.

4. Prueba de Homocedasticidad

Sea:

H0: La varianza poblacional es homogénea de acuerdo al grupo de comparación.

H1: La varianza poblacional varía de acuerdo al grupo de comparación.

Usando la estadística, tenemos:

5. Comparación de Grupos Relacionados

Para lo cual calculamos el pvalor para la prueba paramétrica t de Student.

H0: La diferencia de medias es igual a 0.

H1: La diferencia de medias es distinto a 0. Es decir, hay diferencias.

Usando el programa estadístico, tenemos:

Tabla 37. Prueba t de Student para Muestras Relacionadas

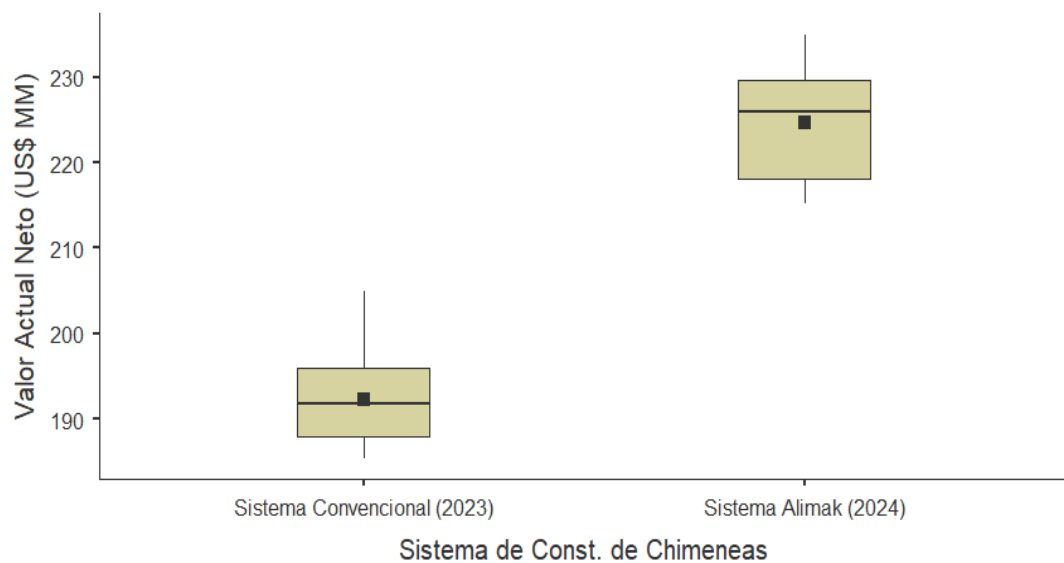
Paired Samples T-Test

			statistic	df	p
VAN-Sistema Convencional	VAN-Sistema Mecanizado (Alimak)	Student's t	-46.505	11.000	< .001

Note. $H_a: \mu_{\text{Measure 1}} - \mu_{\text{Measure 2}} \neq 0$

De la Tabla 37 tenemos el valor de $p < 0.05$, como $p < 0.05$ se rechaza la H_0 , por lo tanto, existen diferencias estadísticamente significativas entre el Valor Actual Neto de los sistemas de construcción de chimeneas convencional(2023) y mecanizado (2024).

Figura 46. Gráfico de la Media y Mediana del VAN



Conclusión:

Finalmente, de la prueba anterior se demuestra que la comparación de medias es $\neq 0$ por lo que existen diferencias estadísticamente significativas entre el VAN de los sistemas convencional (2023) y mecanizado con Alimak (2024), por lo que la

implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas en la Compañía Minera Condestable incrementa la rentabilidad de la empresa minera.

Segunda Hipótesis Específica

La hipótesis específica es el siguiente:

La implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas reduce los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

Los datos se muestran en la Tabla 38.

Tabla 38. *Índice de Accidentabilidad en la UM Condestable*

Id	Sistemas de Const. de Chimeneas	Índice de Frecuencia (IF)
1	1	6.862
2	1	7.470
3	1	3.221
4	1	3.636
5	1	0.000
6	1	0.000
7	1	6.757
8	1	3.384
9	1	6.916
10	1	7.050
11	1	3.511
12	1	3.456
13	2	0.000
14	2	7.431
15	2	6.256
16	2	0.000
17	2	3.018
18	2	6.354
19	2	5.949
20	2	6.036
21	2	3.144
22	2	0.000
23	2	6.145
24	2	0.000

Nota. Los datos de la Tabla 38 han sido obtenidos del MEM.

A. Definición de Variables

Las variables empleadas para la prueba de hipótesis de la segunda hipótesis específica es el siguiente:

Id: Identificador.

Sistema de construcción de chimeneas:

1 = Método convencional (2023).

2= Método mecanizado con Alimak (2024).

B. Descriptivos

Los descriptivos se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39. Descriptivos de la Variable en Estudio

	Sistema de Const. de Chimeneas	N	Mean	Median	SD
Índice de Frecuencia (IF)	Sistema Convencional (2023)	12	4.355	3.574	2.659
	Sistema Alimak (2024)	12	3.694	4.546	3.008

Figura 47. Gráfico de Barras del Índice de Frecuencia de Accidentes

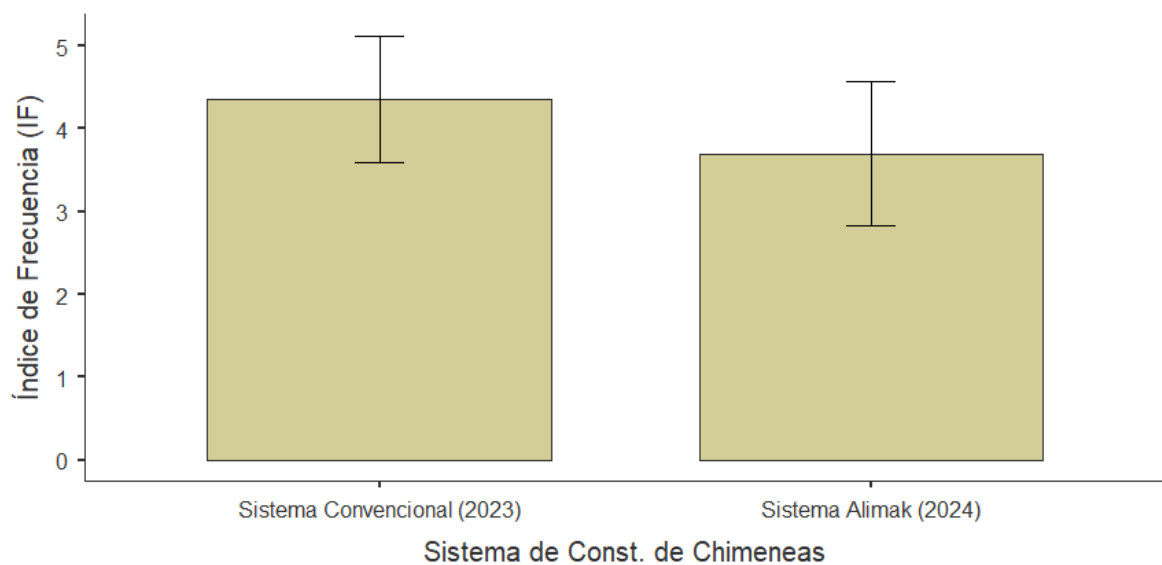
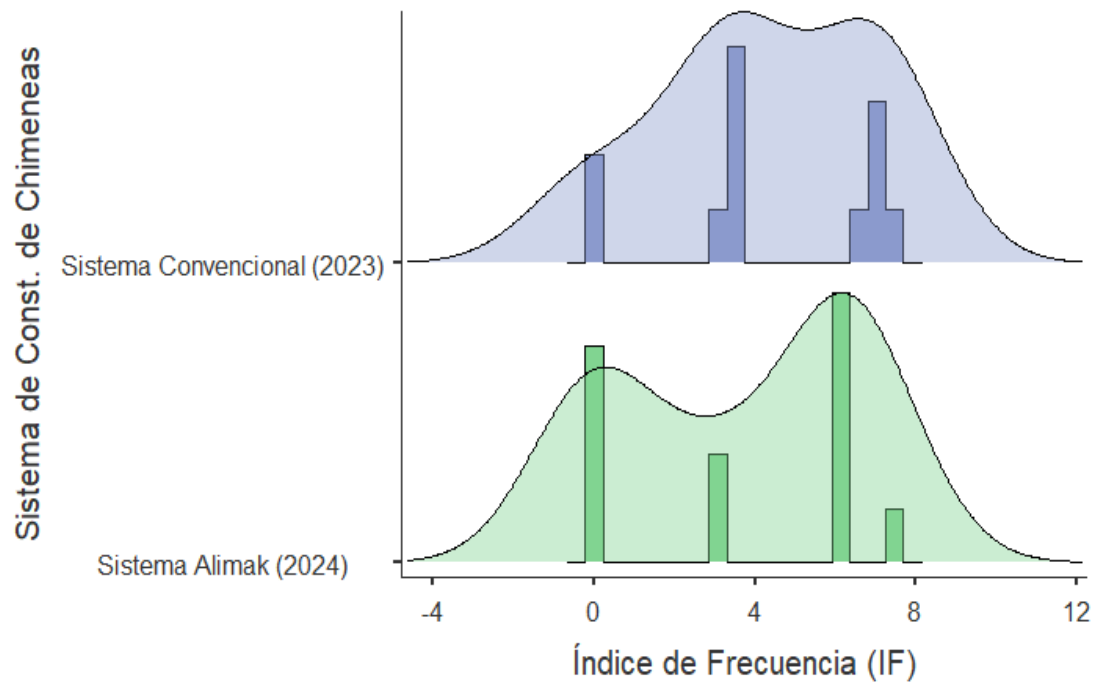


Figura 48. Histograma del Índice de Frecuencia de Accidentes



C. Prueba de Normalidad

Sea:

H0: Los datos siguen la tendencia de una curva normal.

H1: Los datos no siguen la tendencia de una curva normal.

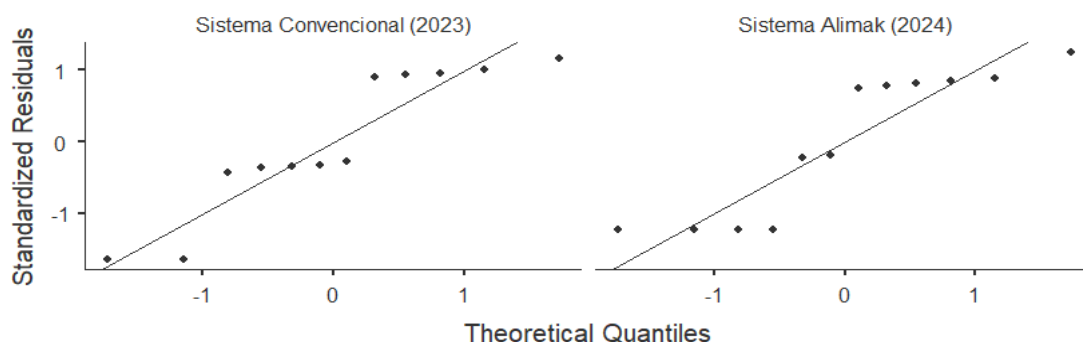
Usando la estadística, tenemos:

Tabla 40. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk

	Sistema de Const. de Chimeneas	Mean	Shapiro-Wilk	
			W	p
Índice de Frecuencia (IF)	Sistema Convencional (2023)	4.355	0.857	0.044
	Sistema Alimak (2024)	3.694	0.812	0.013

Se obtiene para los índices de frecuencia un valor de $p < 0.05$, entonces rechaza la hipótesis nula H0, en consecuencia, los datos no siguen la tendencia de la curva normal. Ver la Figura 49.

Figura 49. Gráficos Q-Q del Índice de Frecuencia de Accidentes



Nota. Los datos de los índices de frecuencia de accidentes no siguen la tendencia de la curva normal.

D. Comparación de Grupos Relacionados

Para lo cual calculamos el pvalor para la prueba no paramétrica de Wilcoxon.

H0: La diferencia de medias es igual a 0.

H1: La diferencia de medias es distinto a 0. Es decir, hay diferencias.

Usando el programa estadístico, tenemos:

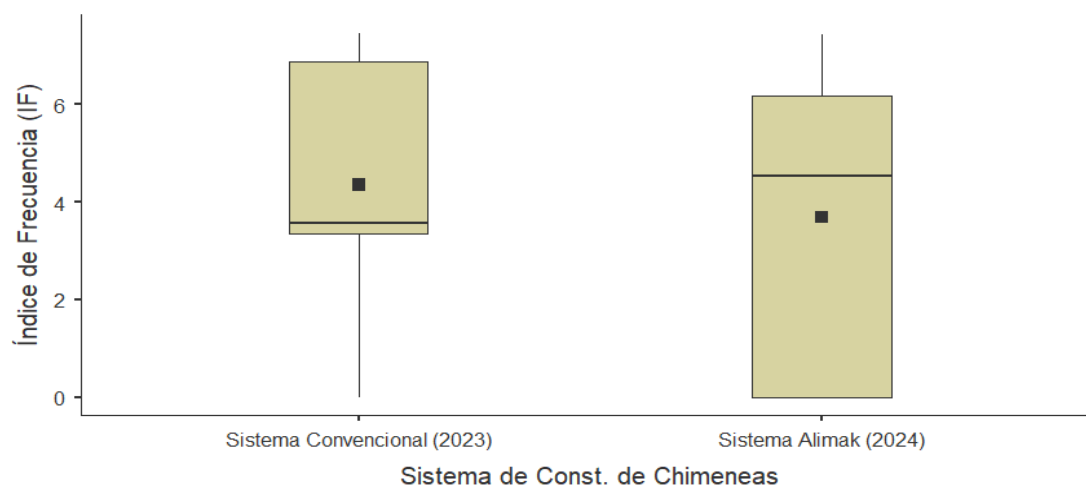
Tabla 41. Prueba de Wilcoxon

			Statistic	p
ÍF-Sistema Convencional	ÍF-Sistema Mecanizado (Alimak)	Wilcoxon W	50	0.424

Note. $H_a \mu_{\text{Measure 1}} - \mu_{\text{Measure 2}} \neq 0$

De la Tabla 37 tenemos el valor de $p > 0.05$, como $p > 0.05$ se acepta la H_0 , por lo tanto, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los índices de frecuencia del sistema convencional y sistema mecanizado (Alimak) en la Compañía Minera Condestable.

Tabla 42. *Media y Mediana de los Costos Operativos 2023 y 2024*



Conclusión:

Finalmente, de la prueba anterior se demuestra que la comparación de medias es = 0 por lo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el sistema convencional y el sistema mecanizado (Alimak) en la construcción de chimeneas, sin embargo el promedio de los índices de frecuencia de accidentes con el sistema convencional es 4.355 y con el sistema mecanizado (Alimak) es 3.694 por lo que se demuestra que la implementación de las plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas influye en la reducción de accidentes en la Compañía Minera Condestable S.A.

4.4. Discusión de Resultados

Los resultados de la investigación demuestran que la implementación de plataformas trepadoras Alimak influye favorablemente en la construcción de chimeneas en la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl. En la dimensión productividad, se observó una mejora en el avance de las labores, en la continuidad del ciclo de trabajo y en el aprovechamiento del rendimiento del personal. En la dimensión accidentes

laborales, los resultados muestran mejores condiciones de seguridad y menor exposición del trabajador a riesgos propios de las labores verticales.

Estos hallazgos permiten sostener que la plataforma Alimak no solo cumple una función mecánica dentro del proceso constructivo, sino que actúa como una tecnología que mejora integralmente el desempeño de la labor. En consecuencia, la discusión confirma que la mecanización de la construcción de chimeneas mediante plataformas trepadoras Alimak constituye una alternativa técnicamente pertinente para incrementar la productividad y fortalecer la seguridad en la operación minera estudiada.

Tabla 43. *Discusión de Resultados*

N°	Autor(es) y Año	Título	Mina / Unidad / Empresa	Método de Construcción	Principales Resultados
1	Arancibia Agostinelli, F. (2025)	Análisis para proyecto de chimenea de ventilación mediante equipo Alimak para una unidad minera en Huancavelica	Unidad minera en Huancavelica (anonimizada)	Alimak STH-5E (Raise Climber)	• Costo unitario: US\$ 1,141.14/m
					• Tiempo dispersión gases: de 90 a 60 min
					• Caudal de aire aumentó >400% en estaciones de monitoreo
					• Temperatura reducida a <29°C
					• Productividad: +15% en tajeos, +21% en desarrollo
					• Ejecución en 121 días
2	Borja Valdez, I. W. (2024)	Análisis geomecánico para la construcción del proyecto pique principal mediante el sistema Alimak y Raise Boring – Unidad Minera San Andrés – MARSA – La Libertad – 2021	Unidad Minera San Andrés – MARSA (La Libertad)	Alimak / Raise Boring (comparativo)	• Calidad de roca: Tipo III (45.1%) y Tipo IV (54.2%)
					• Sección cuadrada/rectangular inestable; sección circular más estable
					• Sostenimiento requiere pernos helicoidales + shotcrete (2 a 4 pulgadas)
					• Factor de seguridad >1.2 con sostenimiento
					• Método Alimak y Raise Boring viables según RMR

N°	Autor(es) y Año	Título	Mina / Unidad / Empresa	Método de Construcción	Principales Resultados
3	Herrera Huachuillca, Á. A. (2023)	Optimización del ciclo de producción de chimeneas con equipo Alimak	Unidad Minera Contonga – Nyrstar (Ancash)	Alimak STH-5E vs. Convencional (Stoper)	• Método convencional: US\$ 382.65/m, 25 días (50 m)
					• Método Alimak: US\$ 423.91/m, 14 días (50 m)
					• Alimak es 11% más costoso pero 44% más rápido
					• Ecuación de tiempo subida: $y = 0.2302x - 0.3713$
					• Ecuación de tiempo bajada: $y = 0.2633x - 3.342$
4	Torre Vasquez, F. E. (2023)	Mejora del circuito de ventilación con la ejecución del proyecto CH RC 200 utilizando el equipo Alimak STH – 5E en CIA Minera Kolpa S.A. 2022	CIA Minera Kolpa S.A. – Huachocolpa (Huancavelica)	Alimak STH-5E (Raise Climber)	• Chimenea: 245 m, sección 3x3 m, inclinación 89°
					• Cobertura de aire inicial: 96% → final: 118%
					• Déficit de 38,814 CFM cubierto con CH RC 200
					• Caudal extraído por CH RC 200: 149,248 CFM
					• Factor de seguridad >1.2 con sostenimiento (split set + malla)

N°	Autor(es) y Año	Título	Mina / Unidad / Empresa	Método de Construcción	Principales Resultados
					• Costo unitario: US\$ 719.99/m (0-100 m) y US\$ 759.67/m (101-200 m)
5	Ventura Flores, J. A. (2025)	Diseño y evaluación de chimeneas Alimak para sistemas de ventilación industrial en la mina	Empresa Minera AGROMIN La Bonita S.A.C. (Arequipa)	Alimak (Raise Climber) – diseño	• Chimenea CH-720: 270 m, sección 2.0x2.0 m
					• Costo unitario: US\$ 790.72/m
					• Tiempo ejecución: 78 días (2.6 meses) + 11 días montaje = 3.5 meses
					• Inversión: US\$ 288,338
					• VAN: US\$ 45,409,279
					• TIR: 3,028%
					• Relación B/C: 3.75
6	Camargo Díaz, G. & Segura Galindo, D. E. (2023)	Desarrollo de una chimenea de ventilación en una mina ubicada al centro del Perú aplicando el sistema Raise Boring	Mina Alpayana S.A. – U.M. Americana (Lima)	Raise Boring (Robbins 43 RAC) – sin Alimak (incluido como contraste)	• Diámetro 1.5 m, longitud 112.7 m
					• Raise Boring: 15 días, US\$ 147,637
					• Convencional: 35 días, US\$ 143,075 (requiere chimenea melliza)
					• Alimak no aplica (sección mínima 2x2 m > 1.5 m)

N°	Autor(es) y Año	Título	Mina / Unidad / Empresa	Método de Construcción	Principales Resultados
					• Caudal de aire: de 9,607 CFM a 31,522 CFM (+228%)
					• Temperatura 28.5°C, velocidad 50 m/min, cobertura 100%

CONCLUSIONES

1. Se concluye que la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas en la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl constituye una alternativa técnica y operativamente superior frente al método convencional, debido a que permite mecanizar el proceso constructivo, mejorar la continuidad del ciclo de trabajo y optimizar el rendimiento de las labores verticales. Ello responde al problema central de la investigación, orientado a evaluar de qué manera esta tecnología influye en la seguridad operativa, el rendimiento de avance, el tiempo de ejecución y las condiciones técnicas del proceso constructivo.
2. Se determina que la implementación de plataformas trepadoras Alimak influye favorablemente en el incremento de la rentabilidad de la operación minera, en razón de que su aplicación permite reducir tiempos improductivos, acelerar la ejecución de chimeneas, mejorar la continuidad operativa y generar mejores condiciones para el desarrollo de las labores subterráneas. En el análisis comparativo de los años 2023 y 2024, el estudio muestra mejores resultados en utilidad neta y tasa interna de retorno bajo el escenario mecanizado con Alimak, lo cual respalda la aceptación de la hipótesis vinculada con el incremento de la rentabilidad.
3. Se concluye que la implementación de plataformas trepadoras Alimak contribuye significativamente a la reducción de los accidentes laborales, debido a que disminuye la exposición directa del trabajador a riesgos propios de las labores verticales, tales como caída de rocas, trabajos en altura, manipulación manual de materiales y condiciones inseguras de acceso. La discusión de resultados confirma que el sistema Alimak mejora las condiciones de seguridad y reduce la exposición del personal a situaciones críticas, fortaleciendo así la gestión preventiva dentro de la operación minera.

4. Se establece que uno de los principales aportes de la plataforma trepadora Alimak radica en su capacidad para integrar seguridad, productividad y control técnico en una sola solución operativa. El sistema facilita el ascenso progresivo de la plataforma de trabajo, optimiza las actividades de perforación, voladura, desate, sostenimiento y limpieza, y favorece un entorno de trabajo más ordenado y controlado. En consecuencia, la mecanización del proceso constructivo no solo representa una mejora tecnológica, sino una estrategia de optimización integral de las labores de chimeneas.
5. Se concluye que la hipótesis general de la investigación queda sustentada, al demostrarse que la implementación de las plataformas trepadoras Alimak influye significativamente en el incremento de la rentabilidad y en la reducción de los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A. De igual modo, las hipótesis específicas referidas al incremento de la rentabilidad y a la disminución de accidentes laborales encuentran respaldo en los resultados obtenidos y en la discusión técnica desarrollada en la tesis.
6. Finalmente, se concluye que la implementación de plataformas trepadoras Alimak representa una decisión estratégicamente favorable para la modernización de la construcción de chimeneas en minería subterránea, ya que fortalece la eficiencia operativa, mejora las condiciones de seguridad del personal y genera impactos positivos sobre el desempeño económico de la unidad minera. Por tanto, su aplicación en la Mina Raúl se configura como una alternativa técnicamente viable, económicamente justificable y operativamente pertinente para el desarrollo vertical de labores subterráneas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl consolidar la implementación de plataformas trepadoras Alimak como sistema prioritario para la construcción de chimeneas de mediana y gran longitud, debido a que su aplicación ha demostrado ventajas técnicas, operativas y de seguridad frente al método convencional, especialmente en labores donde se requiere mayor rendimiento de avance, continuidad operativa y menor exposición del personal a condiciones de riesgo.
2. Se recomienda que la selección del método de construcción de chimeneas esté sustentada en una evaluación técnico-económica previa, considerando variables como longitud de la labor, sección requerida, condiciones geomecánicas del macizo rocoso, tiempos de ejecución, costos unitarios, requerimientos de ventilación y condiciones de seguridad. Esta evaluación permitirá definir con mayor precisión los escenarios en los cuales el sistema Alimak genera mayores beneficios respecto al método convencional o a otras alternativas mecanizadas.
3. Se recomienda fortalecer los programas de capacitación y especialización del personal técnico y operativo encargado del manejo, supervisión y mantenimiento de las plataformas trepadoras Alimak, a fin de garantizar un uso eficiente, seguro y continuo del equipo. Dado que una de las limitaciones del sistema está asociada a la necesidad de personal calificado, la formación permanente debe considerarse como un componente estratégico para maximizar el desempeño de esta tecnología en las labores verticales.
4. Se recomienda implementar controles geomecánicos más rigurosos en todas las chimeneas ejecutadas con plataforma Alimak, mediante la evaluación sistemática del RMR, RQD y condiciones estructurales del macizo rocoso, a fin de definir oportunamente el tipo de sostenimiento requerido en cada tramo de avance. Esta medida permitirá optimizar la

estabilidad de la excavación, reducir riesgos operativos y adecuar el sostenimiento a la calidad real de la roca en campo.

5. Se recomienda establecer un sistema permanente de monitoreo de indicadores de productividad, seguridad y costos en la construcción de chimeneas, que incluya variables como avance por disparo, tiempo de ciclo, costo por metro lineal, índice de frecuencia, índice de severidad e índice de accidentabilidad. El seguimiento sistemático de estos indicadores permitirá evaluar con mayor objetividad el desempeño del sistema Alimak y facilitará la toma de decisiones para la mejora continua de las labores subterráneas.
6. Se recomienda reducir progresivamente la dependencia del método convencional en aquellas labores donde las condiciones técnicas permitan una transición hacia sistemas mecanizados, ya que el método tradicional presenta mayores restricciones en seguridad, menores rendimientos de avance y una mayor exposición del trabajador a eventos de riesgo. La mecanización de la construcción de chimeneas debe asumirse como parte de una estrategia de modernización operativa y de fortalecimiento de la competitividad minera.
7. Se recomienda que futuras investigaciones profundicen en el análisis comparativo entre plataformas Alimak, Raise Boring y otros sistemas de desarrollo vertical, incorporando variables complementarias como costos de ciclo de vida del equipo, mantenimiento, disponibilidad mecánica, desempeño geomecánico de largo plazo e impacto sobre la planificación minera integral. Esto permitirá ampliar la base de conocimiento técnico y mejorar los criterios de selección tecnológica en minería subterránea.
8. Finalmente, se recomienda que la implementación de plataformas trepadoras Alimak sea integrada dentro de una política institucional de innovación tecnológica, seguridad operativa y mejora continua, de modo que no sea entendida únicamente como un cambio de equipo, sino como una decisión estratégica orientada a elevar la eficiencia, reducir la

accidentabilidad y optimizar el desempeño constructivo de las labores verticales en la
Compañía Minera Condestable S.A. – Mina Raúl.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anastasov, D., & Eftimov, Z. (2021). *Innovative mining technologies with complex geomechanical characteristics*. 280, 8021. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202128008021>
- Arroyo, K. G. G. (2020). Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicados en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S. A. A. *Industrial Data*, 22(2), 27–46. <https://doi.org/10.15381/IDATA.V22I2.15615>
- Bernal, C. (2016). *Metodología de la Investigación* (PEARSON (ed.); Cuarta edi).
- Biegaj, K. (2018). *Alternative access, mining and hoisting for underground deposits* (pp. 703–708). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203747124-132>
- Bieniawski, Z. (1988). The rock mass rating (RMR) system (geomechanics classification) in engineering practice. In *Rock Classification Systems for Engineering Purposes*. ASTM International.
- Borja Valdez, I. W. (2024). *Análisis geomecánico para la construcción del proyecto pique principal mediante el sistema Alimak y Raise Boring - Unidad Minera San Andrés – Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA – La Libertad – 2021 Para* [Tesis de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/4087>
- Boudreau-Trudel, B., Nadeau, S., & Zaras, K. (2015). Innovative Mining Equipment: Key Factors for Successful Implementation. *American Journal of Industrial and Business Management*, 05(4), 161–171. <https://doi.org/10.4236/AJIBM.2015.54018>
- Camargo Diaz, G., & Segura Galindo, D. E. (2023). *Desarrollo de una Chimenea de Ventilación en una Mina Ubicada al Centro del Perú Aplicando el Sistema Raise Boring*. Tesis de Pregrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ccallo, W., Mamani, M., Acosta, H., Rodríguez, J., & Cutipa, M. (2013). *Petrogénesis de las*

rocas intrusivas del Grupo Casma (145- - - 105 Ma) en el segmento Acarí – San Juan de Marcona. 026, 22–26.

Córdova Rojas, N. D. (2008). *Geomecánica en el Minado Subterráneo Caso Mina Condestable*. Tesis de Posgrado de la Universidad Nacional de Ingeniería de Minas.

De Haller, A., Corfu, F., Barra, F., Fontboté, L., Chiaradia, M., Frank, M., & Zúñiga Alvarado, J. (2006). *Geology, Geochronology, and Hf and Pb Isotope Data of the Raúl-Condestable Iron Oxide-Copper-Gold Deposit, Central Coast of Peru*. 281–310.

Deere, D. U., & Deere, D. W. (1967). *The Rock Quality Designation (RQD) Index*.

Deere, D. U., & Deere, D. W. (1989). *Rock Quality Designation (RQD) after Twenty Years*. DEERE (DON U) CONSULTANT GAINESVILLE FL.

Dhookie, V. (2016). Impact of new technologies in hard rock underground mining taking into account operational efficiencies and production rates. *Mining of Mineral Deposits*, 10(4), 56–60. <https://doi.org/10.15407/MINING10.04.056>

Diestra Parraga, C. R., & Mayta Mucha, L. F. (2023). *Análisis de los parámetros operacionales en equipos de carguío para la mejora del rendimiento operacional en compañía minera Condestable S. A*. Tesis de Pregrado de la Universidad Continental.

Esteban Nieto, N. (2018). *Tipos de investigación*.

Fourie, F., Valicek, P., Krafft, G., & Sevenoaks, J. (2017). Narrow-reef mechanized mining layout at Anglo American Platinum. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 117(3), 263–274. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2017/V117N3A8>

Haller, A. De, & Fontboté, L. (2006). *RAÚL-CONDESTABLE: A 115 MA OLD SUBVOLCANIC INTRUSION-CENTERED IOCG DEPOSIT*. 716–719.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Vol. 6). méxico: McGraw-Hill México.

- Herrera Huachuillca, Á. A. (2023). *Optimización del ciclo de producción de chimeneas con equipo Alimak* [Tesis de Pregrado de la Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://cybertesis.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/27014>
- Ingenieros, S. (2012). *MEIA Acumulación Condestable*. 1–69.
- Marin Samanez, H. S., & Placencia Medina, M. D. (2024). Características del perfil del investigador en ciencias médicas y de la salud categoría Monge Medrano, calificado por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica de Perú, 2022. *Horizonte Médico (Lima)*, 24(1).
- Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2024). *Metodología de la investigación*. 1–136.
- OECD. (2018). *Manual de Frascati 2015: Guía para la Recopilación y Presentación de Información sobre la Investigación y el Desarrollo Experimental*.
- Penadillo Palomino, C. T. (2026). *Aplicación de técnicas de análisis de regresión y aprendizaje automático para la estimación de sobre dilución en el método de Sub Level Stoping - Compañía Minera Condestable* [Tesis de pregrado de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655994/Penadillo_PC.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Solis Quispe, A. J. (2021). *Uso de los detonadores electrónicos Fametronic para evaluar la fragmentación de la roca en compañía minera Condestable S. A.* Tesis de pregrado de la Universidad Continental.
- Tejeda Romero, R. C., & Mucha Gomez, F. (2022). *Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha*.
- Torre Vasquez, F. E. (2023). *Mejora del circuito de ventilación con la ejecución del proyecto*

CH RC 200 utilizando el equipo Alimak STH – 5E en CIA Minera Kolpa S.A. 2022

[Tesis de Pregrado de la Universidad Nacional del Centro del Perú].

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10666>

Ventura Flores, J. A. (2025). *Diseño y evaluación de chimeneas Alimak para sistemas de ventilación industrial en la mina* [Tesis de Pregrado de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/5743>

Vera, A. (2023). *Reporte de Sostenibilidad 2023 de Southern Peaks Mining*.

Vera, A. (2024). *Reporte de Sostenibilidad 2024*.

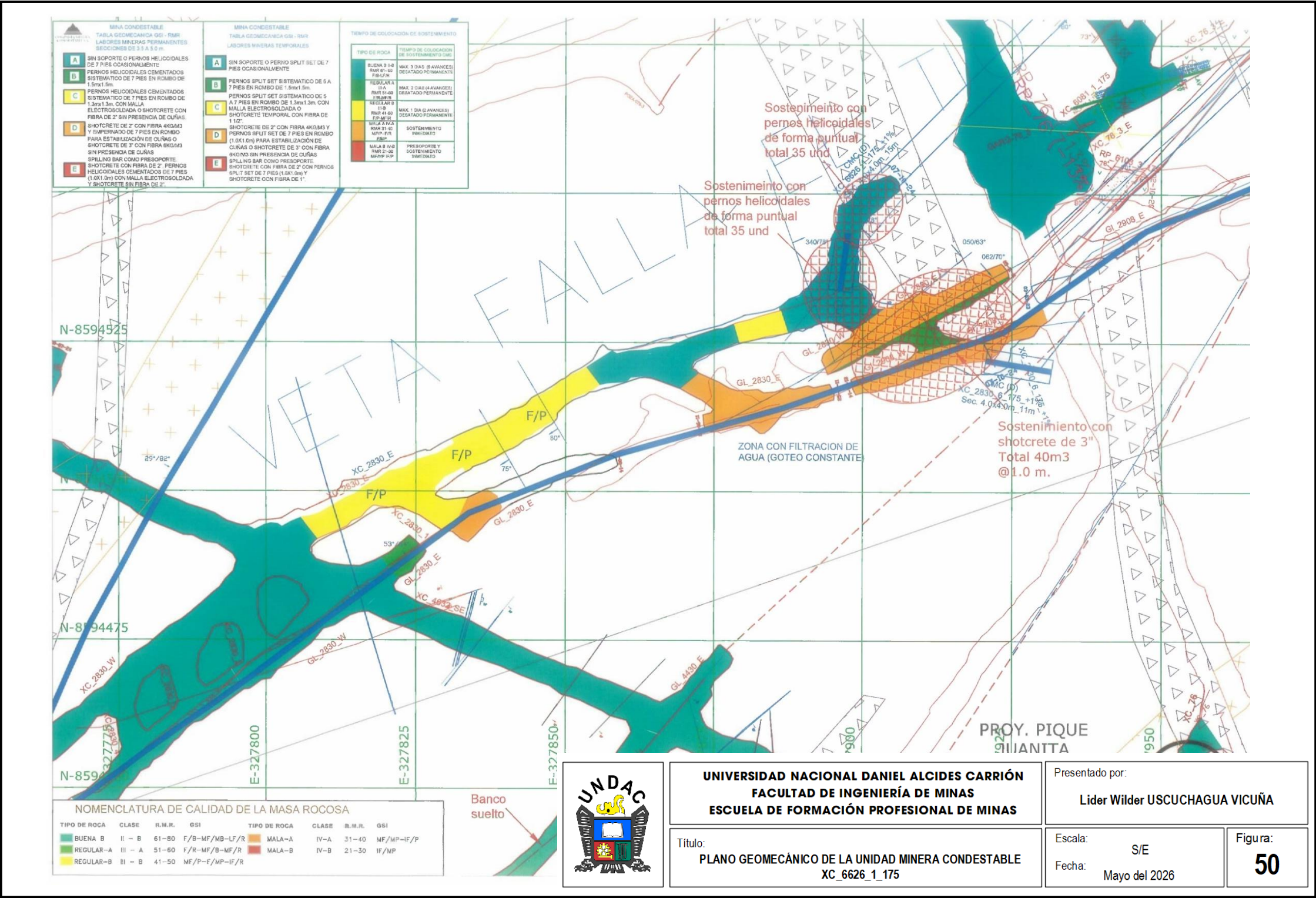
Villanueva Chavez, D. (2023). *Los índices operacionales de la Norma ASARCO y su influencia en la productividad del transporte de mineral desde el chute Nv-350 a superficie, realizado con el Scania R620 Heavy Tipper 14x4, en la empresa CN Minería y Construcción SAC - Compañía Minera Co.* Tesis de pregrado de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Yepez, C., Ramirez, E., Cáceres, J., & Fernandez, A. (2021). *Transporte de mineral con camión de 80 toneladas en mina subterránea y perforación con longitudes de 28 pies en labores rectas en Compañía Minera Condestable*.

Zegarra Colmenares, M. G. (2022). *Aplicación del Análisis del Modeo y Efecto de Falla para Reducir las Fallas de Equipos y Mejorar el Tratamiento en la Planta de Minera Condestable S.A.* Tesis de pregrado de la Universidad de Lima.

ANEXOS

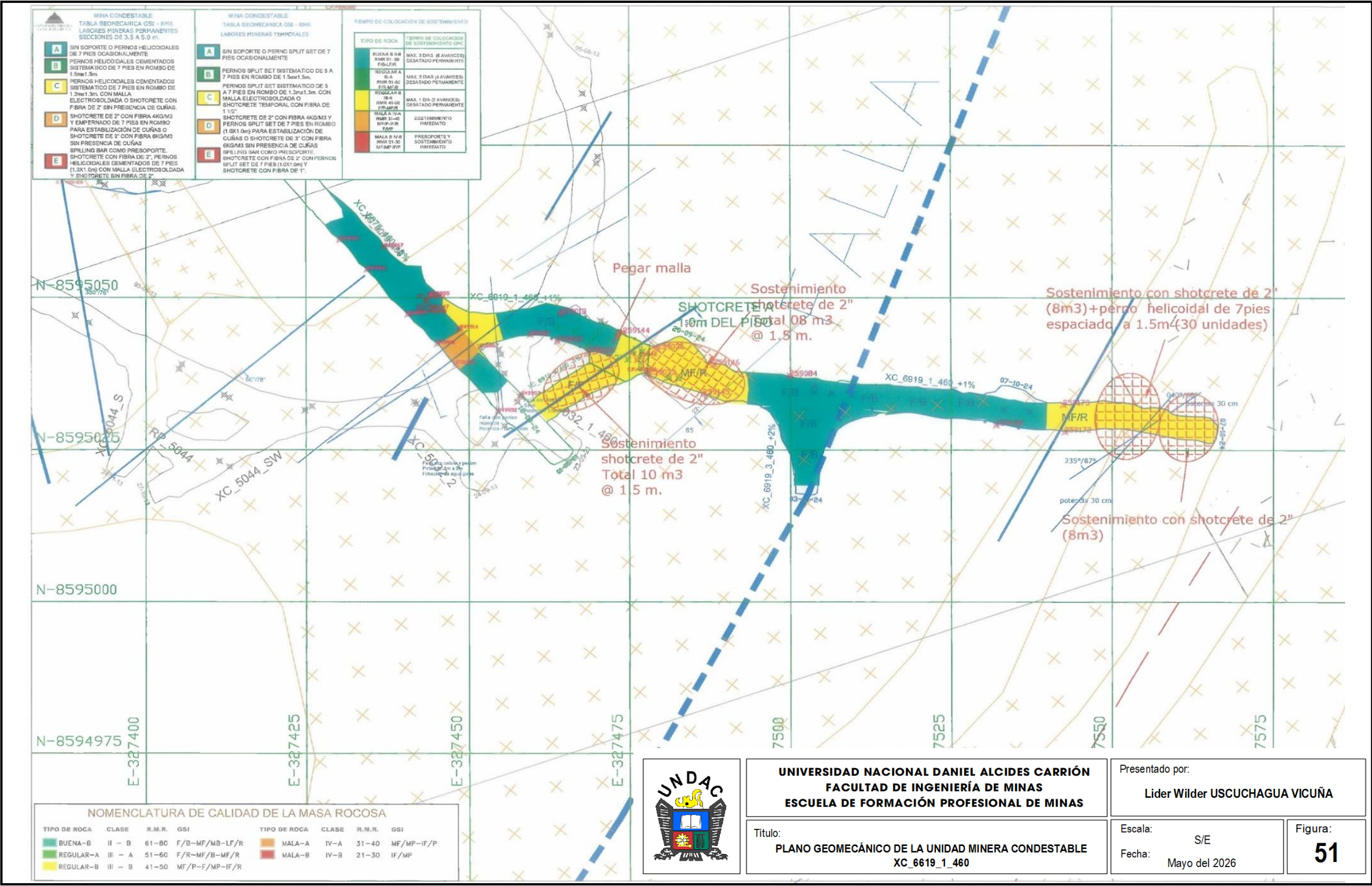
Figura 50. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_6626_1_175



Nota. El plano de la Anexo 1. Planos

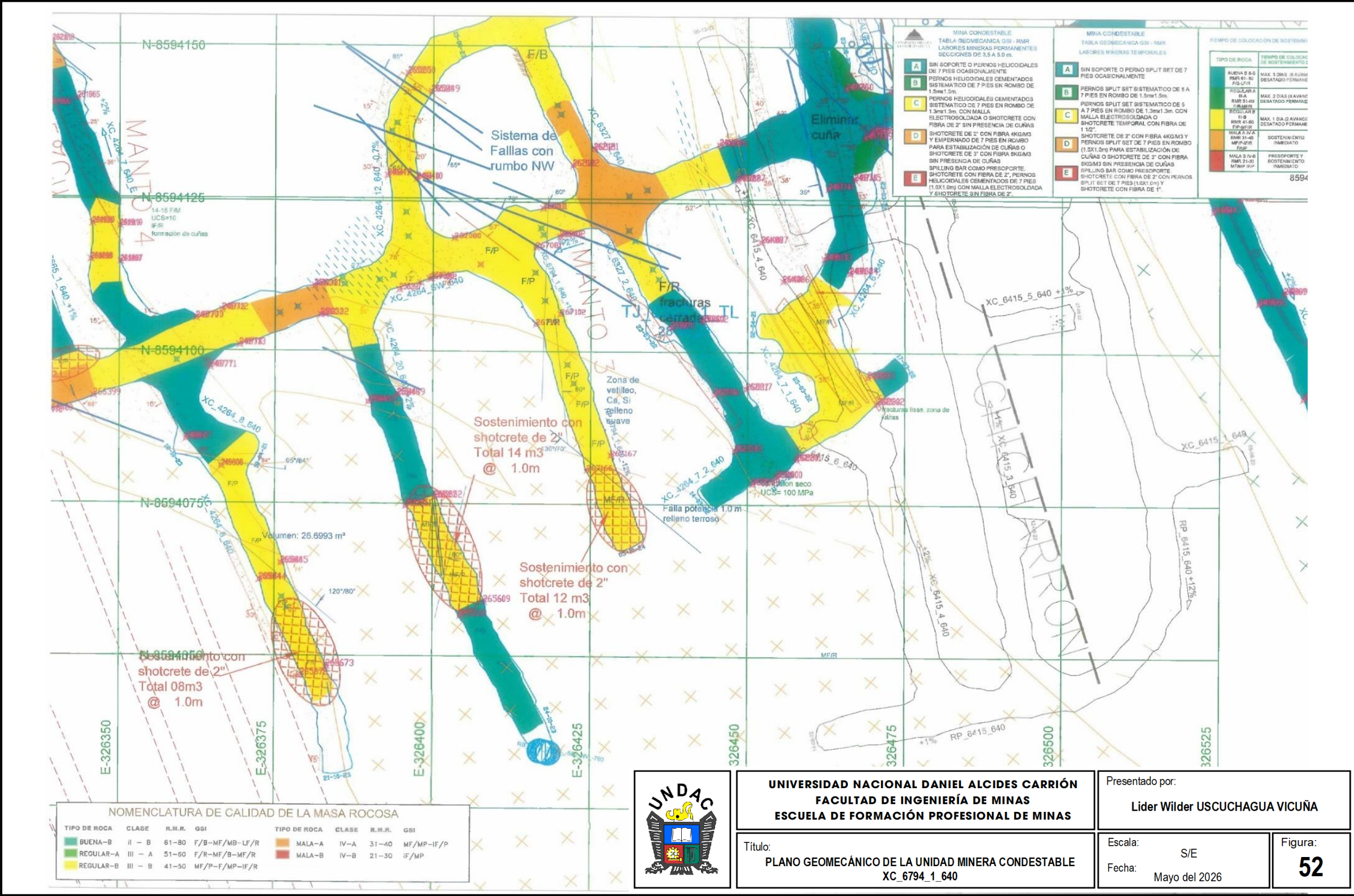
Figura 50 ha sido obtenido de la Unidad Minera Condestable.

Figura 51. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_6919_1_460



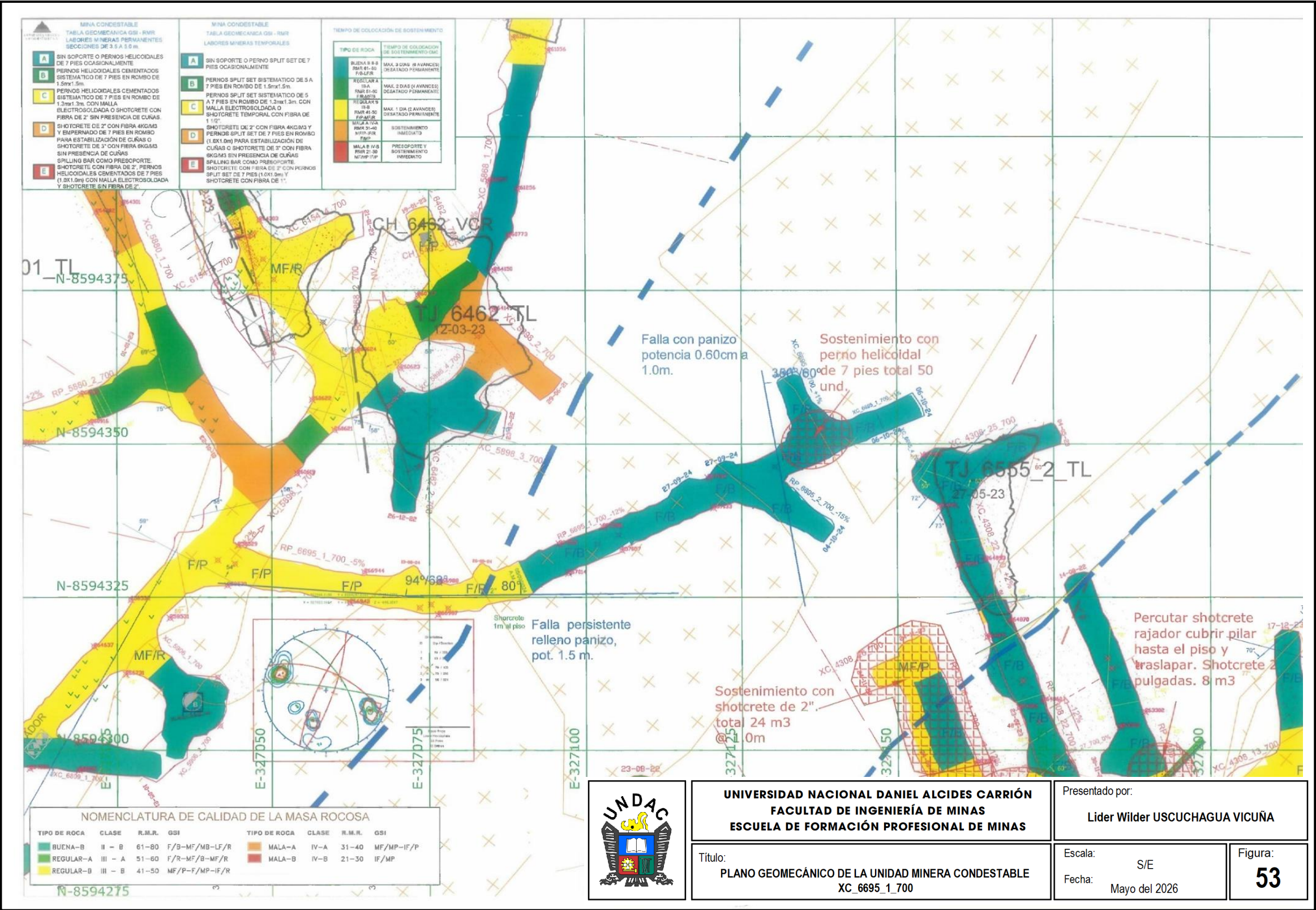
Nota. El plano de la Figura 51 ha sido obtenido de la Unidad Minera Condestable.

Figura 52. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_6794_1_640



Nota. El plano de la Figura 51 ha sido obtenido de la Unidad Minera Condestable.

Figura 53. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_6695_1_700



Nota. El plano de la Figura 51 ha sido obtenido de la Unidad Minera Condestable.

MMA CONDESTABLE

TABLA GEOMECANICA GSI - RMR	LABORES MINERAS PERMANENTES	SECCIONES DE 3.5 A 5.0 m
A	SIN SOPORTE O PERNOS HELICOIDALES DE 7 PIES OCASIONALMENTE	
B	PERNOS HELICOIDALES CEMENTADOS SISTEMATICO DE 7 PIES EN ROMBO DE 1.5m x 1.5m	
C	PERNOS HELICOIDALES CEMENTADOS SISTEMATICO DE 7 PIES EN ROMBO DE 1.3m x 1.3m CON MALLA ELECTROSOLDADA O SHOTCRETE CON FIBRA DE 2" SIN PRESENCIA DE CUÑAS	
D	SHOTCRETE DE 2" CON FIBRA 4KG/M3 Y EMPERNADO DE 7 PIES EN ROMBO PARA ESTABILIZACION DE CUÑAS O SHOTCRETE DE 3" CON FIBRA 6KG/M3 SIN PRESENCIA DE CUÑAS	
E	SPILLING BAR COMO PRESOPORTE, SHOTCRETE CON FIBRA DE 2", PERNOS HELICOIDALES CEMENTADOS DE 7 PIES (1.0X1.0m) CON MALLA ELECTROSOLDADA Y SHOTCRETE SIN FIBRA DE 2"	

MMA CONDESTABLE

TABLA GEOMECANICA GSI - RMR	LABORES MINERAS TEMPORALES
A	SIN SOPORTE O PERO SPLIT SET DE 7 PIES OCASIONALMENTE
B	PERNOS SPLIT SET SISTEMATICO DE 5 A 7 PIES EN ROMBO DE 1.5m x 1.5m
C	PERNOS SPLIT SET SISTEMATICO DE 5 A 7 PIES EN ROMBO DE 1.3m x 1.3m CON MALLA ELECTROSOLDADA O SHOTCRETE TEMPORAL CON FIBRA DE 1 1/2"
D	SHOTCRETE DE 2" CON FIBRA 4KG/M3 Y PERNOS SPLIT SET DE 7 PIES EN ROMBO (1.0X1.0m) PARA ESTABILIZACION DE CUÑAS O SHOTCRETE DE 3" CON FIBRA 6KG/M3 SIN PRESENCIA DE CUÑAS
E	SPILLING BAR COMO PRESOPORTE, SHOTCRETE CON FIBRA DE 2" CON PERNOS SPLIT SET DE 7 PIES (1.0X1.0m) Y SHOTCRETE CON FIBRA DE 1"

TIPO DE ROCA

TIPO DE ROCA	TIEMPO DE COLOCACION DE SOSTENIMIENTO
BUENA B D E RMR 61-80 FIB-LAR	MAX. 3 DIAS (8 AVANCES DESATADO PERMANENTE)
REGULAR A B A RMR 51-60 FIB-MF/B	MAX. 2 DIAS (4 AVANCES) DESATADO PERMANENTE
REGULAR B B RMR 41-50 FIB-ME/S	MAX. 1 DIA (2 AVANCES) DESATADO PERMANENTE
MALA A F A RMR 31-40 MF-P-FIR	SOSTENIMIENTO INMEDIATO
MALA B N/A RMR 21-30 MF-P-FIP	PRESOPORTE Y SOSTENIMIENTO INMEDIATO

sostenimiento con shotcrete de 1 1/2" Total 10 m³ @ 1.5 m

Sostenimiento con shotcrete de 2" Total 16 m³ ó Perno mas malla Total 120 und

Sostenimiento con shotcrete de 2" Total 8m³ @ 1.0 m

Control con desate de rocas

UNDAC

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE MINAS

Título:
PLANO GEOMECANICO DE LA UNIDAD MINERA CONDESTABLE
XC_6796_1_700

Presentado por:
Lider Wilder USCUCHAGUA VICUÑA

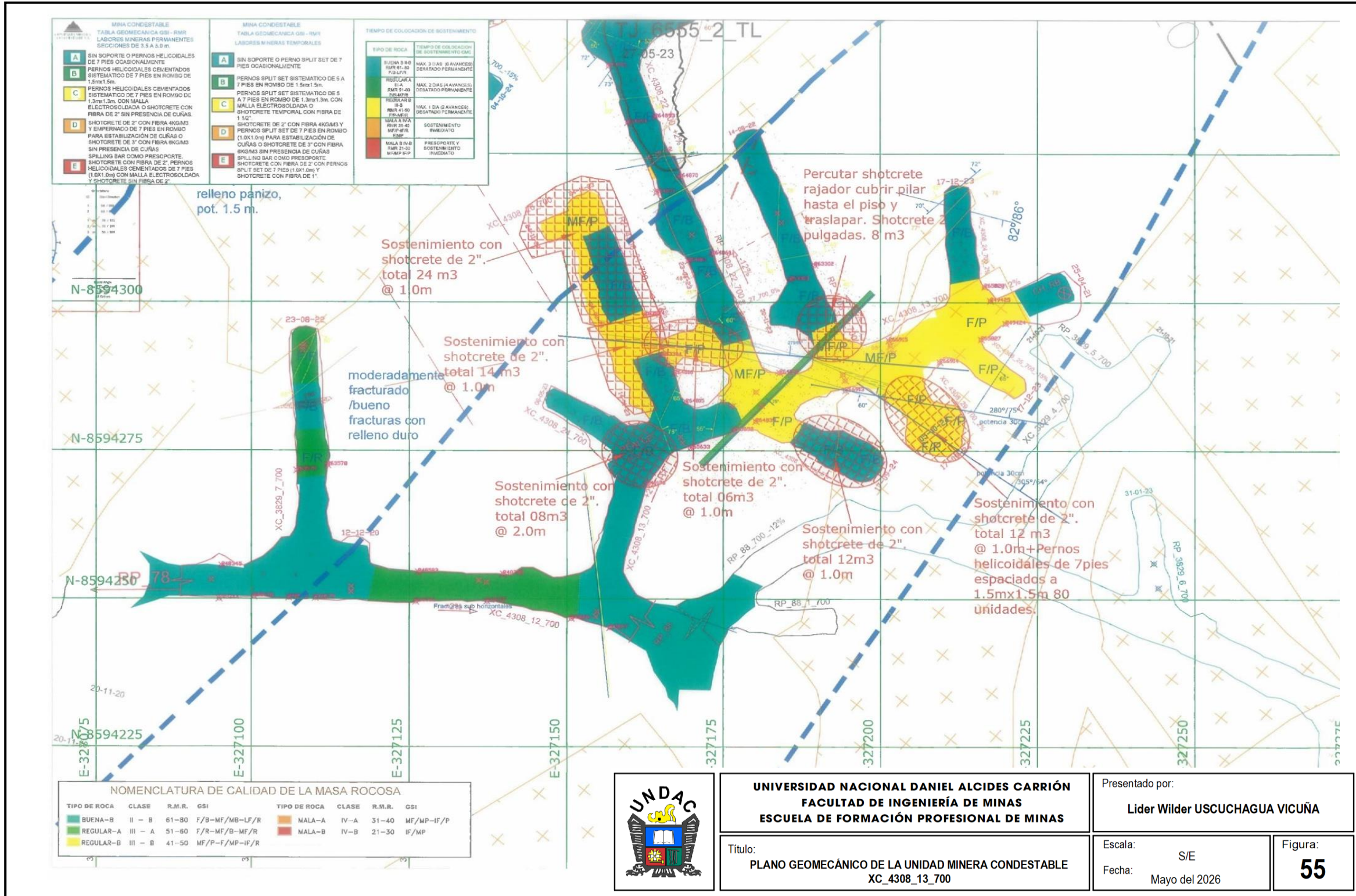
Escala:
S/E

Fecha:
Mayo del 2026

Figura:
54

Nota. El plano de la figura 51 ha sido obtenido de la Unidad Minera Condestable.

Figura 55. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable XC_4308_13_700



Nota. El plano de la Figura 51 ha sido obtenido de la Unidad Minera Condestable.

Nota. El plano de la Figura 51 ha sido obtenido de la Unidad Minera Condestable.

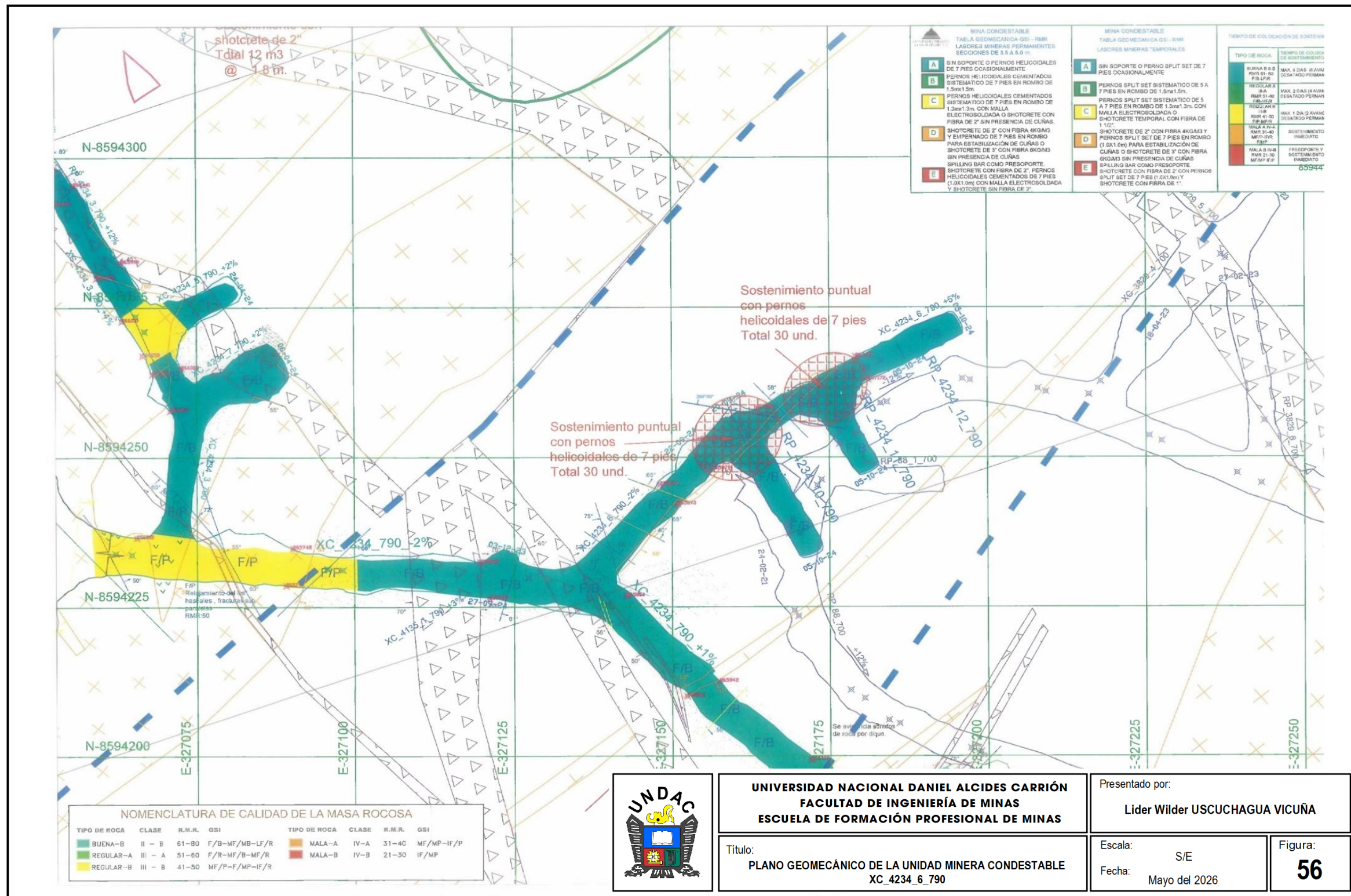
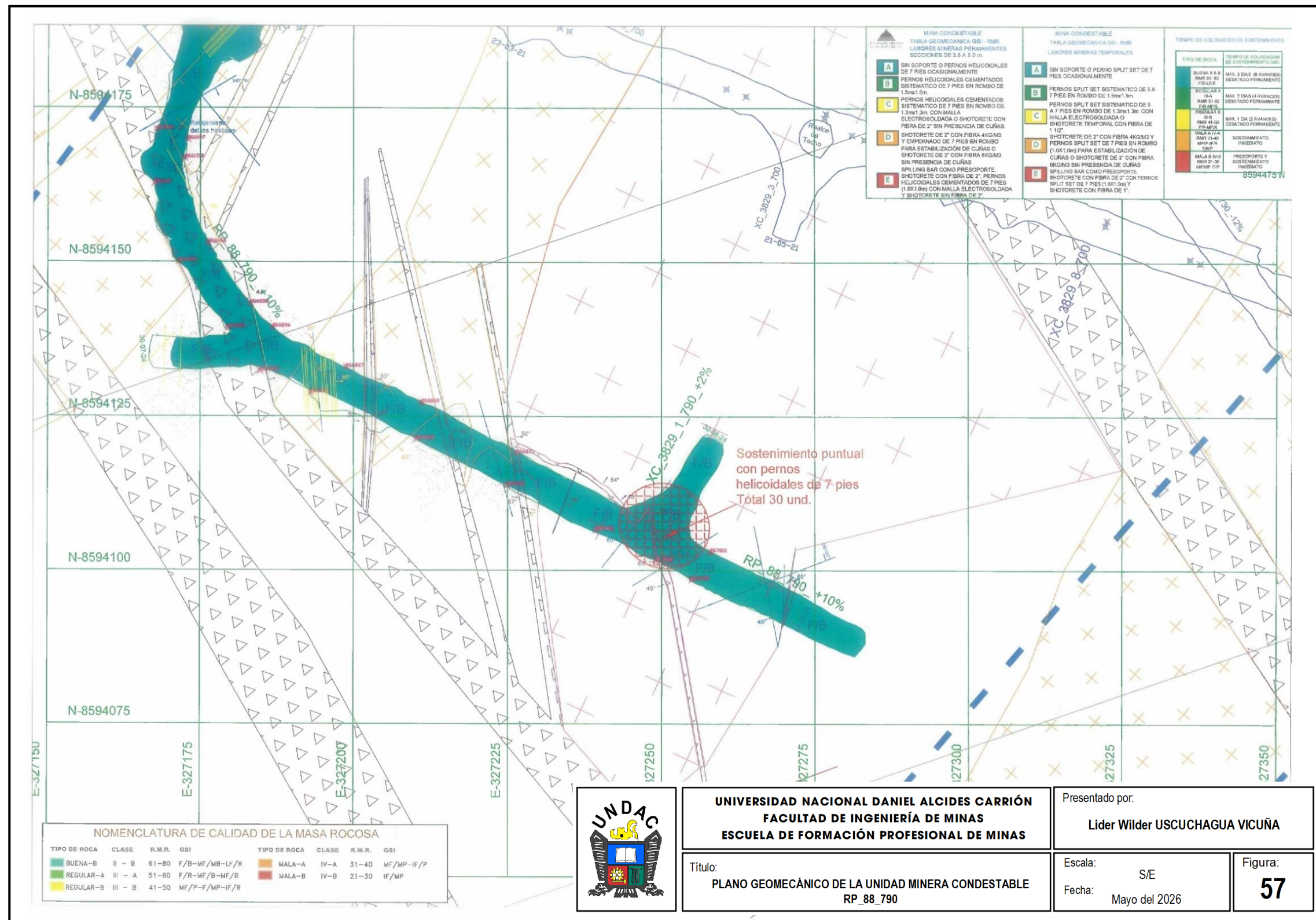


Figura 57. Plano geomecánico de la Unidad Minera Condestable RP_88_790



Nota. El plano de la Figura 51 ha sido obtenido de la Unidad Minera Condestable.

Anexo 2. Matriz de Consistencias

Implementación de Plataformas Trepadoras Alimak en la Construcción de Chimeneas en la Compañía Minera Condestable – Mina Raúl.

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Diseño Metodológico
General ¿De qué manera la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas incrementa la rentabilidad y reduce los accidentes en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.?	General Implementar las plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas para incrementar la rentabilidad y reducir los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.	General La implementación de las plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas influye significativamente en el incremento de la rentabilidad y en la reducción de los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.	Variable Independiente (X) X = Implementación de plataformas trepadoras Alimak. X₁ = Condiciones operativas del equipo. X₂ = Mecanización del proceso.	Variable Independiente (X) X₁₁ = Horas operativas. X₂₁ = Bajo. X₂₂ = Medio. X₂₃ = Alto.	<u>Tipo de Investigación:</u> Investigación aplicada <u>Nivel de Investigación:</u> Explicativo. <u>Diseño de Investigación:</u> No experimental y Transaccional. <u>Diseño:</u> No experimental, transversal y correlacional. <u>Población y Muestra:</u>
Específico 1 ¿Cómo la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas incrementa la rentabilidad en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.?	Específico 1 Determinar la influencia de la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas para incrementar la rentabilidad en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.	Específica 1 La implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas incrementa la rentabilidad en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.	Variable Dependiente (Y) Y = Rentabilidad y accidentes laborales. Y₁ = Rentabilidad. Y₂ = Accidentes laborales.	Variable Dependiente (Y) Y₁₁= Valor actual neto. Y₁₂= Tasa interna de retorno. Y₁₃ = Relación costo-beneficio. Y₂₁= Número de accidentes laborales.	Población: La población estará conformada por: - Trabajadores involucrados en la construcción de chimeneas en la Mina Raúl; - Supervisores e ingenieros responsables del proceso;

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Diseño Metodológico
Problema Específico 2 ¿Cómo la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas reduce los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.?	Objetivo Específico 2 Determinar la influencia de la implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas para reducir los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.	Hipótesis Específico 2 La implementación de plataformas trepadoras Alimak en la construcción de chimeneas reduce los accidentes laborales en la Mina Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.		Y_{22} = Índice de frecuencia de accidentes laborales.	- Operadores de plataformas trepadoras Alimak; - Registros de avance de chimeneas; - Reportes de productividad; - Reportes de accidentes laborales y seguridad. Muestra: La muestra estará conformada por: - Personal técnico y operativo seleccionado por su participación directa en la construcción de chimeneas; - Registros operativos y de seguridad correspondientes al período analizado.

Anexo 3. Panel Fotográfico

Figura 58. Compañía Minera Condestable



Figura 59. *Limpieza del frente con Scoop R300G de 3.1 m³ (4.1 yd³)*



Figura 60. *Apertura del Slot con Jumbo Hidráulico de 2 brazos*



Figura 61. *Trabajos de Alto Riesgo Usando Arnés de Línea Completa*



Figura 62. *Marcado de Chimenea de 1.20 x 2.40 m y 2.00 x 2.00 m de Doble Compartimiento*



Figura 63. *Desatado de Rocas en Chimeneas con barretillas de 4, 6, 8, 12 pies*



Figura 64. *Colocación de Puntales de Madera en Chimeneas por el Método Convencional*



Figura 65. Voladura de Rocas en Condestable



Figura 66. Reunión Semanal con el Área de Planeamiento

