UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

T E S I S

Implementación de un sistema de gestión de la fatiga para prevenir incidentes en operadores de equipos en minería subterránea, 2023-2024

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Donny Denis RAJO BARJA

Bach. Erick Christofer LLANQUI RAMOS

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 INGENIERÍA DE MINAS

T E S I S

Implementación de un sistema de gestión de la fatiga para prevenir incidentes en operadores de equipos en minería subterránea, 2023-2024

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO	**Mg. Vicente Cesar DAVILA CORDOVA**
PRESIDENTE	**MIEMBRO**

Mg. Wenceslao Julio LEDESMA VELITA
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° 027-2026

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. RAJO BARJA, Donny Denis
Bach. LLANQUI RAMOS, Erick Christofer

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo:
"Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga para Prevenir Incidentes en Operadores de Equipos en Minería Subterránea, 2023-2024"

Asesor:
Dr. Floro Pagel Zenteno Gomez

Índice de Similitud: 8 **%**

Calificativo

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 03 de julio de 2026

Firma Digital UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN [AVANZADA]

Firmado digitalmente por FERNANDEZ MALLQUI Raul FAU 20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03.07.2026 11:51:33 -05:00

DEDICATORIA

Dedicamos el presente trabajo de investigación a nuestras familias, por su apoyo constante, comprensión y motivación a lo largo de nuestra formación profesional.

Asimismo, a todas las personas que contribuyeron directa e indirectamente a la culminación de esta tesis.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a Dios por habernos brindado salud, fortaleza y perseverancia para culminar el presente trabajo de investigación.

A nuestra familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante a lo largo de nuestra formación profesional.

De manera especial, agradecemos a la Empresa Minera Volcan S.A., por las facilidades brindadas, el acceso a la información y el apoyo otorgado para el desarrollo del presente estudio, lo cual permitió la correcta aplicación del sistema de gestión propuesto.

Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a los docentes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por sus enseñanzas, orientación académica y acompañamiento durante el proceso de elaboración de esta tesis, contribuyendo significativamente a nuestra formación profesional y al logro de los objetivos planteados.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo implementar un Sistema de Gestión de la Fatiga para prevenir incidentes en operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan S.A., Unidad Cerro de Pasco, en el periodo 2023–2024. La fatiga laboral constituye uno de los principales factores de riesgo en actividades mineras, debido a las jornadas prolongadas, el trabajo por turnos, las condiciones ambientales adversas y la alta exigencia física y mental a la que están expuestos los operadores, lo cual incrementa la probabilidad de ocurrencia de incidentes y accidentes.

El estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño cuasi experimental, utilizando un esquema pretest y postest. La población estuvo conformada por los trabajadores involucrados en la rehabilitación de la rampa (N=60), la muestra estuvo conformada por los operadores de equipos (n=32). Para la recolección de datos se emplearon técnicas como la observación directa y la revisión de registros de seguridad, aplicándose instrumentos para la evaluación del nivel de fatiga y la frecuencia de incidentes.

La implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga incluyó la identificación de factores críticos de fatiga, la evaluación del estado de alerta de los operadores, la aplicación de medidas preventivas y correctivas, así como el monitoreo continuo del desempeño operativo. Los resultados evidenciaron una reducción significativa en la ocurrencia de incidentes y cuasi accidentes, así como una mejora en las condiciones de seguridad y desempeño de los operadores. El número de incidentes se reduce en 34.28 % con 35 incidentes en el 2023 y 23 incidente en el 2024. El número de accidentes se reduce en 22.22 % con 9 accidentes en el 2023 y 2 accidente en el 2024.

Palabras clave: Fatiga laboral, sistema de gestión de la fatiga, prevención de incidentes, operadores de equipos, minería subterránea.

ABSTRACT

The objective of this research was to implement a Fatigue Management System to prevent incidents among equipment operators in the construction of the Esperanza Ramp at Empresa Minera Volcan S.A., Cerro de Pasco Unit, during the period 2023–2024. Work-related fatigue is one of the main risk factors in mining activities, due to long working hours, shift work, adverse environmental conditions, and the high physical and mental demands to which operators are exposed, which increases the likelihood of incidents and accidents.

The study was applied, with a quantitative approach and quasi-experimental design, using a pretest and posttest scheme. The population consisted of workers involved in the construction of the ramp (N=60), and the sample consisted of equipment operators (n=32). Data collection techniques included direct observation and review of safety records, using instruments to assess fatigue levels and incident frequency.

The implementation of the Fatigue Management System included the identification of critical fatigue factors, the assessment of operator alertness, the application of preventive and corrective measures, and the continuous monitoring of operational performance. The results showed a significant reduction in the occurrence of incidents and near misses, as well as an improvement in safety conditions and operator performance. The number of incidents is reduced by 34.28% with 35 incidents in 2023 and 23 incidents in 2024. The number of accidents was reduced by 22.22%, with 9 accidents in 2023 and 2 accidents in 2024.

Keywords: Work fatigue, fatigue management system, incident prevention, equipment operators, underground mining.

INTRODUCCIÓN

La industria minera se caracteriza por el desarrollo de actividades de alto riesgo, en las que la seguridad y salud de los trabajadores constituyen un eje fundamental para garantizar la continuidad operativa y la sostenibilidad de los proyectos. Dentro de este contexto, la construcción de labores subterráneas, como rampas y galerías, implica una elevada exigencia física y mental para los operadores de equipos, quienes desempeñan sus funciones bajo condiciones ambientales adversas, jornadas prolongadas y sistemas de trabajo por turnos, factores que incrementan la probabilidad de fatiga laboral.

La fatiga laboral es un estado de disminución de la capacidad física y cognitiva del trabajador, que afecta directamente la atención, el tiempo de reacción, la toma de decisiones y el desempeño seguro de las tareas. En el ámbito minero, especialmente en operaciones subterráneas, la fatiga se reconoce como uno de los principales factores contribuyentes a la ocurrencia de incidentes, cuasi accidentes y eventos no deseados, representando un riesgo crítico que debe ser gestionado de manera sistemática y preventiva.

En la actualidad, la gestión de la fatiga ha evolucionado desde un enfoque individual hacia un enfoque organizacional, en el cual las empresas implementan Sistemas de Gestión de la Fatiga como parte de sus sistemas de seguridad y salud en el trabajo. Estos sistemas permiten identificar los factores que generan fatiga, evaluar el nivel de alerta de los trabajadores, establecer controles operacionales y realizar un monitoreo continuo, con el objetivo de reducir los errores humanos y prevenir incidentes laborales.

En este contexto, la Empresa Minera Volcan S.A., Unidad Cerro de Pasco, durante la rehabilitación de la Rampa Esperanza, enfrenta el desafío de fortalecer sus mecanismos de control para la prevención de incidentes en operadores de equipos. La alta demanda operativa, las condiciones propias del trabajo subterráneo y la necesidad de cumplir con los plazos de ejecución del proyecto hacen indispensable la implementación de herramientas de gestión que

permitan controlar de manera efectiva el riesgo asociado a la fatiga laboral.

Por ello, la presente investigación se orienta a la implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga, con la finalidad de prevenir incidentes en operadores de equipos durante la rehabilitación de la Rampa Esperanza, contribuyendo a mejorar las condiciones de seguridad, el desempeño operativo y la cultura de prevención dentro de la organización. Asimismo, el estudio busca generar evidencia que respalde la importancia de integrar la gestión de la fatiga como un componente clave dentro de los sistemas de gestión de seguridad en la actividad minera.

ÍNDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema....1

1.2. Delimitación de la investigación....2

1.2.1. Delimitación espacial....2

1.2.2. Delimitación Temporal....3

1.2.3. Delimitación Poblacional....3

1.2.4. Delimitación Temática....3

1.2.5. Delimitación Metodológica....3

1.3. Formulación del problema....4

1.3.1. Problema general....4

1.3.2. Problemas específicos....4

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
1.6. Limitaciones de la investigación 7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio 9
2.1.1. Antecedentes internacionales 9
2.1.2. Antecedentes nacionales 14
2.2. Bases teóricas – científicas 17
2.2.1. Minería Subterránea y la Ingeniería de Rehabilitación de Rampas 18
2.2.2. Naturaleza y Mecanismos Biológicos de la Fatiga Laboral 20
2.2.3. Incidentes y Accidentes Asociados a la Fatiga en el Perú 21
2.2.4. Normas Aplicables a la Gestión de la Fatiga en el Perú 22
2.2.5. Sistemas de Gestión del Riesgo de Fatiga (FRMS) 24
2.2.6. Repercusión Económica de los Accidentes para la Empresa 27
2.2.7. Impacto a la Población Afectada y Responsabilidad Social 29
2.2.8. Control de Fatiga en el Sector Minero Peruano 30
2.2.9. Estrategias para una Implementación Exitosa del FRMS 32
2.2.10. Generalidades de la Mina 34
2.3. Definición de términos básicos 58
2.4. Formulación de hipótesis 59
2.4.1. Hipótesis general 59
2.4.2. Hipótesis específicas 59
2.5. Identificación de variables 60
2.5.1. Variables Dependientes 60
2.5.2. Variables Independientes 60

2.6. Definición operacional de variables e indicadores 60
2.6.1. Indicadores de la Hipótesis General 60
2.6.2. Dimensiones e Indicadores de las Hipótesis Secundarias 61

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación 64
3.2. Nivel de investigación 65
3.3. Métodos de investigación 66
3.3.1. Método Científico 66
3.3.2. Método Inductivo 66
3.3.3. Método Deductivo 67
3.3.4. Método Analítico 67
3.3.5. Método Comparativo 68
3.4. Diseño de investigación 68
3.5. Población y muestra 71
3.5.1. Población 71
3.5.2. Muestra 72
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 72
3.6.1. Técnica: Observación Directa 72
3.6.2. Técnica: Análisis Documental 73
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación 73
3.7.1. Selección de los Instrumentos de Investigación 74
3.7.2. Validación de los Instrumentos de Investigación 74
3.7.3. Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación 75
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 75

3.8.1. Procesamiento de Datos 76
3.8.2. Análisis Estadístico Descriptivo 76
3.8.3. Análisis Estadístico Comparativo 77
3.8.4. Interpretación de Resultados 78
3.9. Tratamiento estadístico 78
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica 79

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo 80
4.1.1. Desarrollo del trabajo de Campo 81
4.1.2. Condiciones y Criterios del Trabajo de Campo 82
4.1.3. Importancia del Trabajo de Campo en la Investigación 83
4.1.4. Generalidades de la Rampa Esperanza 83
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados 96
4.2.1. Resultados Relacionados con la Gestión de la Fatiga 97
4.2.2. Resultados Sobre los Incidentes en Operadores de Equipos 97
4.2.3. Determinación de la Eficiencia del Sueño 98
4.3. Prueba de hipótesis 111
4.3.1. Hipótesis general 111
4.3.2. Hipótesis específicas 116
4.4. Discusión de resultados 126

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Pagina

Figura 1. Conductor Fatigado 25

Figura 2. Sistema de Manejo del Riesgo de Fatiga Efectivo 25

Figura 3. ReadiScore: Predicción de la Fatiga Hora a Hora 27

Figura 4. Operador del Equipo Implementado con el Sistema ADAS 31

Figura 5. Sistema Exagon OAS 31

Figura 6. Equipo Pesado Implementado con el Sistema Exagon OAS 32

Figura 7. Plano de Ubicación 36

Figura 8. Mapa Geológico Regional de Volcan UM Cerro de Pasco 43

Figura 9. Mapa de Geología Local de Volcan UM Cerro de Pasco 46

Figura 10. Sección Transversal de Volcan UM Cerro de Pasco 48

Figura 11. Mapa Estructural de Volcan UM Cerro de Pasco 49

Figura 12. Columna Estratigráfica del Yacimiento 50

Figura 13. Nivel 8080 81

Figura 14. Capacitación Permanente de los Trabajadores 82

Figura 15. Transportador de Concreto 84

Figura 16. Tajo Raúl Rojas y la Rampa Esperanza 86

Figura 17. Organigrama de la Empresa Especializada 88

Figura 18. Perno Helicoidal 93

Figura 19. Perno Split Set 93

Figura 20. Sostenimiento de la Rampa Usando el Concreto Lanzado 94

Figura 21. Sostenimiento con Cimbras 95

Figura 22. Cable Bolting 96

Figura 23. Declaración Jurada de Fatiga y/o Somnolencia 98

Figura 24. Eficiencia del Sueño de Enero del 2024 99
Figura 25. Eficiencia del Sueño de Marzo del 2024 100
Figura 26. Eficiencia del Sueño de Marzo del 2024 101
Figura 27. Eficiencia del Sueño de Abril del 2024 102
Figura 28. Eficiencia del Sueño de Mayo del 2024 103
Figura 29. Eficiencia del Sueño de Junio del 2024 104
Figura 30. Eficiencia del Sueño de Julio del 2024 105
Figura 31. Eficiencia del Sueño de Agosto del 2024 106
Figura 32. Eficiencia del Sueño de Septiembre del 2024 107
Figura 33. Eficiencia del Sueño de Octubre del 2024 108
Figura 34. Eficiencia del Sueño de Noviembre del 2024 109
Figura 35. Eficiencia del Sueño de Diciembre del 2024 110
Figura 36. Gráficos Q-Q Plot de la curva normal 113
Figura 37. Media y Mediana Antes y Después del SGF 115
Figura 38. Gráfico de Barras Antes y Después del SGF 115
Figura 39. Histograma Antes y Después del SGF 116
Figura 40. Q-Q plot del Número de Incidentes 118
Figura 41. Media y Mediana del Número de Incidentes 120
Figura 42. Diagrama de Barras del Número de Incidentes 121
Figura 43. Histograma del Número de Incidentes 121
Figura 44. Q-Q plot del Índice de Severidad del Número de Accidentes 123
Figura 45. Media y Mediana del Número de Accidentes 125
Figura 46. Diagrama de Barras del Número de Accidentes 126
Figura 47. Histograma y Densidad del Número de Accidentes 126

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1. Parámetros Técnicos de Diseño de Rampas en Minería Subterránea 19

Tabla 2. Estadísticas de Incidentes y Accidentes por Fatiga 21

Tabla 3. Clasificación de Costos por Accidentes Laborales 28

Tabla 4. Distancias de Acceso a la Unidad Minera 35

Tabla 5. Subsidiarias de Volcan Unidad Cerro de Pasco 39

Tabla 6. Secuencia Estratigráfica Regional (Cuadrángulo 22-k) 42

Tabla 7. Comparativa de Métodos de Minado en Cerro de Pasco 52

Tabla 8. Capacidad de Tratamiento e Infraestructura de Plantas (2024) 53

Tabla 9. Producción de Metales Finos (Consolidado Volcan 2022 - 2024) 54

Tabla 10. Indicadores Financieros Clave (2023 - 2024) 55

Tabla 11. Inventario de Minerales (Estimado 2024) 57

Tabla 12. Vehículos y Equipos Mecanizados 85

Tabla 13. Relación de Equipos, Vehículos y Herramientas 87

Tabla 14. Mano de Obra 90

Tabla 15. Equipos y Personal para Shotcrete Mecanizado 91

Tabla 16. Distancia por Sostener 91

Tabla 17. Tipos de Sostenimiento por Niveles 91

Tabla 18. Perno Swellex Omega Bolt 92

Tabla 19. Número de Incidentes y Accidentes en la UM Cerro de Pasco 112

Tabla 20. Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk 113

Tabla 21. Prueba de Wilcoxon 113

Tabla 22. Criterios para la d de Cohen 114

Tabla 23. Descriptivo de las Variables 114

Tabla 24. Número de Incidentes del SGF 117
Tabla 25. Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk 117
Tabla 26. Prueba de Wilcoxon 118
Tabla 27. Criterios para la d de Cohen 119
Tabla 28. Descriptivos de las Variables 119
Tabla 29. Número de Accidentes del SGF 122
Tabla 30. Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) 123
Tabla 31. Prueba de Wilcoxon 124
Tabla 32. Criterios para la d de Cohen 124
Tabla 33. Descriptivo de las Variables 125
Tabla 34. Discusión de Resultados 128

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La actividad minera subterránea presenta condiciones laborales complejas que demandan un alto nivel de concentración, resistencia física y capacidad de respuesta por parte de los trabajadores, especialmente de los operadores de equipos involucrados en la construcción de labores como rampas y galerías. En este tipo de operaciones, los factores organizacionales, ambientales y humanos interactúan constantemente, incrementando la probabilidad de ocurrencia de incidentes cuando no son gestionados de manera adecuada.

En la Empresa Minera Volcan S.A., Unidad Cerro de Pasco, específicamente durante la ejecución del proyecto de rehabilitación de la Rampa Esperanza, se ha evidenciado la presencia de condiciones que favorecen la aparición de fatiga laboral en los operadores de equipos. Entre estas condiciones se encuentran las jornadas laborales prolongadas, el trabajo en turnos rotativos, la exposición a ruido, vibraciones, iluminación limitada y ambientes confinados, así como la presión operativa por el cumplimiento de metas de avance. Estos factores influyen negativamente en el estado

físico y mental de los trabajadores, reduciendo su nivel de alerta y aumentando el riesgo de errores humanos.

La fatiga laboral, al no ser gestionada de forma sistemática, se convierte en un factor crítico que contribuye a la ocurrencia de incidentes y cuasi accidentes, tales como colisiones, golpes, atrapamientos y fallas en la operación de equipos. La ausencia de un Sistema de Gestión de la Fatiga formalmente implementado limita la capacidad de la organización para identificar oportunamente los niveles de fatiga, establecer controles preventivos y realizar un seguimiento continuo del desempeño de los operadores.

En este contexto, el problema central identificado radica en la falta de implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga que permita prevenir incidentes en los operadores de equipos durante la rehabilitación de la Rampa Esperanza. Esta situación no solo compromete la seguridad y salud de los trabajadores, sino que también impacta negativamente en la eficiencia operativa, la continuidad del proyecto y el cumplimiento de los estándares de seguridad exigidos por la normativa vigente y por la propia organización.

Por lo tanto, se hace necesario identificar, analizar y gestionar de manera integral el riesgo asociado a la fatiga laboral, mediante la implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga que permita reducir la ocurrencia de incidentes, fortalecer la cultura de prevención y contribuir a la mejora continua de la seguridad en las operaciones mineras subterráneas.

1.2. Delimitación de la investigación

La presente investigación se delimita considerando los siguientes aspectos:

1.2.1. Delimitación espacial

El estudio se desarrolló en la Empresa Minera Volcan S.A., Unidad Cerro de Pasco, específicamente en el área de rehabilitación de la Rampa Esperanza, donde

operan equipos pesados utilizados en labores de minería subterránea. La investigación se circunscribe a este espacio físico, debido a que en dicha zona se concentran las actividades operativas objeto de análisis y los trabajadores expuestos al riesgo de fatiga laboral.

1.2.2. Delimitación Temporal

La investigación se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre los años 2023 y 2024, tiempo en el cual se realizó el diagnóstico inicial, la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga y la evaluación de sus efectos en la prevención de incidentes laborales en los operadores de equipos.

1.2.3. Delimitación Poblacional

La población de estudio estuvo conformada por los operadores de equipos que participaron directamente en la rehabilitación de la Rampa Esperanza. La investigación se enfocó exclusivamente en este grupo ocupacional, debido a su exposición directa a jornadas prolongadas, trabajo por turnos y alta exigencia física y mental. No se incluyó a personal administrativo ni a trabajadores de otras áreas de la unidad minera.

1.2.4. Delimitación Temática

El estudio se centró en la implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga como herramienta preventiva, analizando su influencia en la reducción de incidentes laborales. No se abordaron otros sistemas de gestión de seguridad ni factores de riesgo distintos a la fatiga laboral, tales como riesgos químicos, ergonómicos o psicosociales no relacionados directamente con el estado de alerta de los operadores.

1.2.5. Delimitación Metodológica

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, debido a que se orientó a la medición objetiva de variables relacionadas con la fatiga laboral y la ocurrencia de incidentes en operadores de equipos. El estudio fue de tipo aplicado, ya

que buscó implementar un Sistema de Gestión de la Fatiga y evaluar su efectividad en un contexto operativo real, con la finalidad de proponer soluciones prácticas a un problema identificado en la actividad minera.

El diseño de la investigación fue cuasi experimental, utilizando un esquema pretest y postest, lo que permitió comparar los resultados obtenidos antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga. Este diseño facilitó la evaluación del impacto del sistema en la reducción de incidentes laborales y en la mejora del desempeño seguro de los operadores, sin la manipulación aleatoria de los grupos de estudio, debido a las condiciones propias de la operación minera.

Asimismo, se emplearon técnicas de recolección de datos como la observación directa y la revisión de registros de seguridad, utilizando instrumentos previamente validados y adaptados a la realidad del proyecto. Para el análisis de los datos se aplicaron métodos estadísticos descriptivos e inferenciales, permitiendo interpretar los resultados de manera objetiva y confiable.

Finalmente, la investigación se desarrolló respetando los principios éticos, garantizando la confidencialidad de la información y el uso responsable de los datos obtenidos, asegurando la validez y confiabilidad de los resultados del estudio.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera la implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga influye en la prevención de incidentes y accidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco?

1.3.2. Problemas específicos

a. ¿Cómo la implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga influye en

la reducción de incidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco?

b. ¿De qué manera la implementación de un Sistema de Control de la Fatiga influye en la reducción de accidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Implementar un Sistema de Gestión de la Fatiga para prevenir incidentes y accidentes en los operadores de equipos de minería subterránea de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan S.A. Unidad Cerro de Pasco.

1.4.2. Objetivos específicos

a. Determinar la influencia de la Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga en la reducción de incidentes en los operadores de equipos de minería subterránea de la rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco.

b. Determinar la influencia de la Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga en la reducción de accidentes en los operadores de equipos de minería subterránea de la rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco.

1.5. Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica por la necesidad de fortalecer la seguridad y salud ocupacional en la rehabilitación de la rampa esperanza en la Empresa Minera Volcan Compañía Minera S.A.A., Unidad Cerro de Pasco, a través de la implementación

de un sistema de gestión de la fatiga que permita prevenir incidentes en los operadores de equipos pesados que laboran en condiciones de alta exigencia física y mental.

En el contexto minero, la fatiga laboral constituye uno de los factores de riesgo más críticos, asociado a la disminución del rendimiento, errores operativos y accidentes graves. Los operadores de equipos mineros trabajan en turnos prolongados, ambientes subterráneos con baja oxigenación, exposición a vibraciones, ruido y estrés, condiciones que incrementan significativamente la probabilidad de incidentes laborales.

Desde el punto de vista práctico, la implementación de un sistema de gestión de la fatiga permitirá establecer mecanismos de control, monitoreo y respuesta temprana frente a los indicadores de somnolencia y agotamiento del personal, contribuyendo directamente a reducir la accidentabilidad, los costos operativos y las pérdidas humanas y materiales. Asimismo, esta investigación servirá como modelo de aplicación para otras unidades mineras del país que enfrentan problemas similares.

En el ámbito teórico, el estudio aportará conocimiento científico sobre la gestión de riesgos psicosociales y fisiológicos en minería, ampliando el marco conceptual de la seguridad ocupacional en relación con la fatiga. Además, permitirá validar la efectividad de las estrategias de control de fatiga como parte de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional Minera (SGSSOM), alineado con la normativa vigente (DS. N° 024-2016-EM, 2016).

En el aspecto social, la investigación busca proteger la integridad y bienestar del trabajador minero, reduciendo la probabilidad de accidentes que afectan a las familias, comunidades y entorno social donde opera la empresa. Un entorno laboral más seguro fortalece la confianza, la moral y la productividad del personal.

Finalmente, en el aspecto institucional y económico, la propuesta generará beneficios medibles para la empresa, tales como la reducción de incidentes, mayor continuidad operativa, cumplimiento normativo y mejora de su reputación corporativa en materia de seguridad y salud.

En síntesis, esta investigación es relevante, oportuna y viable, ya que responde a una problemática actual en el sector minero y busca contribuir a la construcción de una cultura preventiva sostenible, basada en la gestión científica de la fatiga laboral como eje fundamental para la prevención de accidentes y la protección de la vida humana.

1.6. Limitaciones de la investigación

Durante el desarrollo de la presente investigación se presentaron algunas limitaciones que deben ser consideradas para una adecuada interpretación de los resultados obtenidos.

Una de las principales limitaciones estuvo relacionada con el acceso a la información operativa y a los registros de incidentes, debido a las políticas internas de confidencialidad de la empresa minera. Si bien se contó con la autorización correspondiente para la recopilación de datos, cierta información sensible fue proporcionada de manera resumida, lo que pudo restringir un análisis más detallado de algunos eventos.

Asimismo, la investigación se vio limitada por la disponibilidad de tiempo de los operadores de equipos, quienes cumplen jornadas laborales exigentes y trabajo por turnos. Esta situación dificultó la aplicación de evaluaciones en determinados momentos, por lo que la recolección de datos debió ajustarse a los horarios operativos establecidos.

Otra limitación estuvo relacionada con la variabilidad de las condiciones operativas, tales como cambios en la programación de turnos, avances del proyecto y condiciones ambientales propias de la minería subterránea, factores que pudieron influir en los niveles de fatiga y en la ocurrencia de incidentes durante el periodo de estudio.

Adicionalmente, el diseño cuasi experimental del estudio no permitió la asignación aleatoria de los grupos de análisis, lo cual constituye una limitación metodológica propia de investigaciones desarrolladas en entornos reales de trabajo. No obstante, se aplicaron procedimientos de control y análisis estadístico para minimizar posibles sesgos.

Finalmente, los resultados de la investigación se circunscriben a la realidad específica de la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan S.A., Unidad Cerro de Pasco, por lo que su generalización a otros contextos mineros debe realizarse con la debida precaución.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Diversos estudios han evidenciado que la fatiga laboral es un factor de riesgo significativo en las operaciones mineras, específicamente para los operadores de equipos pesados que laboran en condiciones complejas y bajo turnos prolongados de día y noche. A continuación, se presentan algunos antecedentes relevantes que sustentan la necesidad de desarrollar un modelo de gestión de la fatiga en minería:

2.1.1. Antecedentes internacionales

Milošević et al. (2025) en el artículo titulado "*Occupational health and safety performance in a changing mining environment: Identification of critical factors*", la investigación se centró en analizar de manera integral cómo los factores relacionados con el equipamiento y ambiente de trabajo, el comportamiento humano y el clima organizacional influyen en la satisfacción en seguridad y, a través de ella, en el desempeño en seguridad ocupacional de operadores de maquinaria minera.

La investigación ha sido realizada en el sector minero de Serbia, adopta un enfoque cuantitativo con alcance explicativo, lo que permite identificar relaciones

causales entre los factores técnicos, humanos y organizacionales y el desempeño en seguridad ocupacional. Este estudio destaca que el clima organizacional y la satisfacción en seguridad actúan como variables mediadoras clave entre las condiciones laborales y el desempeño en seguridad. A diferencia de otros antecedentes, este trabajo aporta evidencia empírica robusta mediante el uso de Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM), lo que refuerza la validez de sus conclusiones y demuestra que la seguridad ocupacional no depende únicamente de aspectos técnicos, sino también del compromiso gerencial, la capacitación y el apoyo organizacional.

Latief & Arpin (2025) en el artículo "*Work fatigue in the mining industry: A literature review of factors, impacts, and measurement strategies*", la investigación se centró en examinar de forma sistemática los factores causales, los impactos en la salud y seguridad, y las estrategias de medición de la fatiga laboral en trabajadores del sector minero, a partir de evidencia científica reciente.

La investigación se desarrolló en Indonesia y tiene un contexto internacional. El estudio tiene un eenfoque cualitativo, revisión sistemática de la literatura (SLR), análisis de 10 artículos publicados entre 2019 y 2025, fuentes: Scopus y Google Scholar; los instrumentos analizados fueron: cuestionarios estandarizados (MFI-20, PHQ-9, GAD-7) y métodos objetivos como sensores portables y modelos de aprendizaje automático. Los resultados revelan que la fatiga laboral en minería se asocia principalmente a turnos nocturnos, largas jornadas, elevada carga física y mental, estrés psicosocial y condiciones ambientales extremas. Se identifican métodos de medición subjetivos y objetivos con alta complementariedad. Las conclusiones indican que la fatiga laboral en minería es un fenómeno multidimensional que debe abordarse mediante intervenciones integradas que incluyan gestión de turnos, control de carga laboral, monitoreo tecnológico y programas de apoyo psicosocial.

Mouton & Goedhals-gerber (2025) en el artículo "*Operational management of truck driver fatigue: A systematic review*¨, la investigación se centró en analizar y sintetizar las estrategias de gestión operativa de la fatiga en conductores de transporte pesado, con el fin de proponer marcos de gestión aplicables a contextos de países en desarrollo.

La investigación se desarrolló en Sudáfrica orientado a los países en desarrollo utilizando un enfoque cualitativo; revisión sistemática siguiendo la metodología PRISMA; análisis de 32 estudios académicos y literatura gris; técnica de análisis temático; categorización de estrategias en sistemas operativos, cultura de seguridad y bienestar del trabajador. Los resultados revelan que la gestión eficaz de la fatiga se basa en la integración de sistemas de programación de turnos, monitoreo en tiempo real, cultura de seguridad, capacitación y programas de salud y bienestar, además indica que no existen soluciones únicas o aisladas. Las conclusiones indican que la fatiga ocupacional debe gestionarse mediante sistemas interconectados y dinámicos que combinen medidas preventivas, correctivas y de monitoreo continuo, adaptadas a las limitaciones de recursos de los países en desarrollo. Este antecedente coincide con los estudios previos en señalar que las soluciones aisladas son insuficientes y que la efectividad de la gestión de la fatiga depende de la articulación entre factores organizacionales, humanos y tecnológicos.

Talebi & Rogers (2022) en el artículo "*Environmental and work factors that drive fatigue of individual haul truck drivers*", investigación realizada en América del Norte en operaciones mineras a cielo abierto, la investigación se centró en analizar cómo los factores ambientales y organizacionales influyen en la aparición de fatiga en operadores de camiones mineros y su relación con la seguridad operacional.

Utilizando un enfoque cuantitativo; diseño no experimental, transversal; muestra de operadores de camiones mineros; instrumentos: cuestionarios de fatiga y análisis de condiciones de trabajo; análisis estadístico descriptivo e inferencial. Los resultados identificaron que la duración de turnos, las condiciones ambientales adversas y la carga mental incrementan significativamente los niveles de fatiga, aumentando el riesgo de incidentes operativos. Las conclusiones de la investigación indicaron que la fatiga en operadores mineros es consecuencia de múltiples factores laborales y ambientales, por lo que su prevención requiere sistemas de gestión que integren control de turnos, condiciones de trabajo y monitoreo del estado del operador.

Keränen et al. (2025) en el artículo "Machine-learning-based fatigue trend analysis on IMU for fatigue management using wearable sensors to classify four diagnostic fatigue states" desarrollado en los entornos industriales y de operación de equipos pesados en Europa, la investigación se centró en desarrollar y validar un sistema de gestión de la fatiga basado en sensores portables e inteligencia artificial para clasificar estados de fatiga en operadores.

Utilizando un enfoque cuantitativo y tecnológico; diseño experimental; muestra de operadores equipados con sensores inerciales (IMU); instrumentos: sensores portables y algoritmos de machine learning; análisis mediante modelos predictivos. Respecto a los resultados el modelo propuesto logró clasificar con alta precisión cuatro estados de fatiga, permitiendo la detección temprana del deterioro del rendimiento antes de que ocurran incidentes. Sobre las conclusiones del estudio, la incorporación de tecnologías de monitoreo en tiempo real fortalece la implementación de sistemas de gestión de la fatiga, permitiendo acciones preventivas oportunas en operaciones de alto riesgo.

Mokwena & Shirinde (2025) en el artículo titulado "*Occupational ergonomic risks among women in mining: Implications for fatigue management policies"* desarrollado en el sector minero de Europa, la investigación se centró en analizar los riesgos ergonómicos y su relación con la fatiga laboral, con implicancias para el diseño de políticas de gestión de la fatiga en minería.

El estudio tiene un enfoque cuantitativo; diseño no experimental y descriptivo; muestra de trabajadoras mineras; instrumentos: encuestas ergonómicas y de fatiga laboral; análisis estadístico descriptivo. Los resultados evidenciaron una alta prevalencia de fatiga asociada a riesgos ergonómicos, jornadas prolongadas y deficiencias en la organización del trabajo. Respecto a las conclusiones indicó que la gestión de la fatiga debe incorporarse como política formal dentro de los sistemas de seguridad y salud ocupacional, considerando factores ergonómicos y organizacionales específicos del contexto minero.

Horberry et al. (2023), en la revista Resources Safety and Health Queensland se publicó la investigación "*Fatigue Management in the Queensland Mining Industry and its Relationship with Mental Health",* la investigación se centró en analizar cómo la fatiga minera se vincula con la salud mental de los trabajadores, además identificó tendencias de incidentes relacionados con fatiga y cómo las prácticas actuales capturan estos riesgos.

El autor recopiló los datos operativos e incidentes reportados en minas locales, comparándolos con políticas de gestión de fatiga aplicadas con entrevistas o encuestas a profesionales del sector minero para conocer experiencias en la implementación de sistemas de fatiga, así como el análisis de estrategias, prácticas operativas, normativas aplicadas y correlaciones con la salud mental de los trabajadores. Se identificaron varios enfoques de gestión de fatiga utilizados en minas, incluyendo rotación de turnos,

descansos integrados y monitoreo de alertas, también se evidenció que muchas minas capturan poco los incidentes realmente atribuibles a fatiga, debido a subreporte o falta de estándares claros, también se observó una relación significativa entre fatiga y estrés, ansiedad u otros indicadores de salud mental en los trabajadores.

Maisey et al. (2022) en su artículo publicado en la revista científica ScienceDirect "*Fatigue Risk Management Systems Diagnostic Tool: Validation of an FRMS diagnostic tool*", la investigación se centró en diseñar y validar una herramienta diagnóstica para evaluar la madurez o estado de un sistema de gestión de riesgo de fatiga (FRMS) en organizaciones industriales así como definir los componentes clave que debe tener un FRMS completo y cómo estos pueden medirse o evaluarse y proporcionar un instrumento que las empresas puedan usar para autoevaluarse antes de implementar mejoras.

Se realizó la identificación de dimensiones clave del FRMS (por ejemplo, políticas, cultura, monitoreo, reporte, controles), la construcción del diagnóstico como cuestionario estructurado con indicadores cuantitativos y cualitativos y la validación del instrumento mediante pruebas piloto en organizaciones (fábricas, operaciones industriales) y análisis estadístico para confiabilidad y validez.

Los resultados definen los cinco componentes principales del FRMS (por ejemplo: políticas, reporte, análisis de datos, controles, re-evaluación)., además el instrumento diagnóstico mostró buenos indicadores de confiabilidad (consistencia interna) y validez de constructo, permite identificar brechas clave en la implementación de sistemas de fatiga y priorizar acciones de mejora.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Calderon, R. (2024) en la Tesis de Pregrado de la Universidad Nacional de Arequipa titulada "Gestión de la fatiga y somnolencia en operadores de equipos de

acarreo para la prevención de accidentes en la U.M. Constancia" desarrollado en la Unidad Minera Constancia – Cusco, la investigación se centró en implementar un sistema de gestión de fatiga y somnolencia para reducir accidentes en operadores de acarreo.

Utilizó un enfoque cuantitativo, diseño preexperimental; aplicación de encuestas, registros de accidentes y monitoreo de fatiga. Los resultados revelan una reducción significativa de eventos de somnolencia y accidentes tras la implementación del sistema. Las conclusiones indicaron que la gestión sistemática de la fatiga mejora la seguridad operacional y reduce incidentes asociados al error humano.

Gonzales & Leandro (2024) en la Tesis de Pregrado de la Universidad San Ignacio de Loyola titulada "Implementación de un sistema de gestión de fatiga para reducir los índices de accidentabilidad en operadores contratistas de equipo pesado minero", desarrollado en las operaciones mineras peruana que laboran por el sistema de contrata, la investigación se centró en reducir la accidentabilidad mediante un sistema formal de gestión de la fatiga.

Utilizando una investigación aplicada, diseño cuasi experimental; análisis estadístico de indicadores de accidentabilidad. Los resultados revelan la disminución de la tasa de accidentes e incremento del cumplimiento de estándares de seguridad. Las conclusiones indican que la implementación de un sistema estructurado de gestión de fatiga es eficaz para el control de riesgos críticos en contratistas mineros.

Castillo, A. (2024) en la Tesis de Pregrado de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna titulada "Influencia de un sistema de control de fatiga para reducir eventos de somnolencia en operadores de camiones de minería superficial", la investigación se centró en evaluar la influencia de un sistema de control de fatiga en la reducción de eventos de somnolencia.

Utilizando un enfoque cuantitativo, diseño correlacional; uso de dispositivos tecnológicos de monitoreo. Los resultados revelan una reducción de eventos de somnolencia y mejora del estado de alerta de los operadores. Las conclusiones indican que el uso de tecnología de control de fatiga contribuye significativamente a la prevención de incidentes en minería superficial.

Arca et al. (2025) en la Tesis de la Escuela de Posgrado de GERENS titulada "La fatiga asociada a los turnos de trabajo y su impacto en la accidentabilidad y productividad de una empresa minera superficial", la tesis se centró en analizar la relación entre fatiga laboral, accidentabilidad y productividad.

Utilizando un diseño descriptivo-correlacional; análisis de turnos, registros de accidentes y productividad, Correlación positiva entre fatiga elevada, mayor accidentabilidad y menor productividad. Las conclusiones indican que la gestión adecuada de turnos y fatiga es clave para mejorar la seguridad y eficiencia en minería superficial.

Gonzales & Leandro (2024) en la tesis de pregrado "Implementación de un Sistema de Gestión de Fatiga para Reducir los Índices de Accidentabilidad en Operadores Contratistas de Equipo Pesado Minero" se centró en determinar en qué medida la implementación del Sistema de Gestión de Fatiga reduce los índices de accidentabilidad en operadores contratistas de equipo pesado minero, la intención era cuantificar la variación de los índices antes y después de la aplicación del sistema. El enfoque es explicativo, el diseño es pre-experimental con pre-test y post-test en un solo grupo, se compararon los índices de accidentabilidad antes y después de aplicar el sistema de fatiga.

Después de la implementación del sistema produjo una gran reducción del PDI (índice de incidentes con daño a la propiedad) de 39.08 en 2022 a 0.60 en 2023, se obtuvo

una relación costo/beneficio de S/ 2.24, es decir, por cada sol invertido se recuperó S/ 1.24 en ahorro de incidentes.

2.2. Bases teóricas – científicas

La industria minera peruana 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 preciosos y básicos. Sin embargo, la complejidad operativa de la minería subterránea impone desafíos únicos en términos de seguridad y salud ocupacional. Dentro del desarrollo de una mina subterránea, la rehabilitación de rampas es una actividad crítica que permite el acceso a las reservas minerales y la movilización de personal, equipos y materiales. Esta labor, ejecutada en entornos confinados, con visibilidad limitada y bajo condiciones ambientales extremas, exige una atención constante por parte de los operadores de equipos pesados. En este contexto, la fatiga laboral emerge como una de las amenazas más insidiosas y peligrosas, siendo un factor contribuyente en una proporción alarmante de incidentes y accidentes mortales en el sector.

La fatiga no es simplemente una sensación de cansancio, sino un estado fisiológico y psicológico complejo que degrada las capacidades cognitivas y motoras del individuo, incrementando exponencialmente la probabilidad de error humano. En el Perú, la gestión de este riesgo ha evolucionado de un enfoque reactivo basado en el cumplimiento de horas de jornada laboral hacia sistemas integrales y predictivos de gestión de la fatiga (FRMS, por sus siglas en inglés). La implementación de estos sistemas no solo es una exigencia ética y legal bajo el marco del Decreto Supremo 024-2016-EM y la Ley 29783, sino también una necesidad económica estratégica, dado que los costos asociados a los accidentes por fatiga pueden comprometer la estabilidad

financiera de los proyectos y la licencia social de las empresas frente a las comunidades locales.

2.2.1. Minería Subterránea y la Ingeniería de Rehabilitación de Rampas

La rehabilitación de rampas en la minería subterránea es un proceso de ingeniería de alta precisión que define la arquitectura de la unidad minera. Estas infraestructuras son túneles inclinados que conectan diferentes niveles de la mina y deben ser diseñadas para soportar el tránsito constante de maquinaria pesada, como jumbos de perforación, cargadores frontales de bajo perfil (scoop trams) y camiones de acarreo. El diseño técnico de estas vías está estrictamente regulado en el Perú para garantizar la seguridad operativa. Según el Decreto Supremo 024-2016-EM, las dimensiones de la rampa deben ser proporcionales al equipo de mayor tamaño que transite por ellas, estableciendo que en vías de doble sentido el ancho no debe ser menor a tres veces el ancho del vehículo más grande (Pallete, 2024).

La gradiente o pendiente de la rampa es uno de los factores más críticos tanto para la productividad como para la seguridad. Una rampa con una pendiente excesiva aumenta el esfuerzo del motor de los equipos, eleva las temperaturas de operación y exige un uso intensivo de los sistemas de frenado. En la práctica minera peruana, la gradiente promedio se sitúa en un 12%, aunque puede oscilar entre el 10% y el 15% dependiendo de la profundidad y el método de explotación. El diseño en espiral es común para ganar profundidad en espacios reducidos, pero introduce desafíos adicionales como la fuerza centrífuga constante y la monotonía visual del operador, factores que aceleran la aparición de la fatiga (Campos, 2022).

Para mitigar los riesgos de despiste o fallas mecánicas, la normativa exige la instalación de bermas de seguridad o camellones de material compactado. Estas estructuras deben tener una altura no menor a las tres cuartas partes del diámetro de la

llanta más grande de los vehículos en uso y poseer la resistencia mecánica necesaria para contener un camión fuera de control en una trayectoria tangencial. Además, la implementación de rampas de emergencia o carreteras de alivio es vital en tramos de gran longitud para permitir que los operadores detengan la maquinaria de forma segura en caso de emergencia (DS. N° 024-2016-EM, 2016).

Tabla 1. *Parámetros Técnicos de Diseño de Rampas en Minería Subterránea*

Parámetro Técnico	**Especificación Normativa / Estándar**	**Impacto en la Fatiga y Seguridad**
Ancho de vía (Doble sentido)	≥ 3 veces el ancho del vehículo más grande	Reduce el estrés por maniobras en espacios confinados.
Gradiente óptima	8% a 10%	Minimiza el esfuerzo térmico y mecánico del equipo.
Gradiente promedio (Perú)	12%	Exige mayor atención y control del operador en el frenado.
Altura de bermas	≥ 3/4 del diámetro de la llanta más grande	Barrera física ante microsueños o despistes.
Drenaje lateral	0% a 5%	Evita la acumulación de agua que degrada la visibilidad.

Nota. Esta tabla ha sido extraída de (Campos, 2022).

El entorno subterráneo introduce variables ambientales que exacerban el agotamiento del operador. La falta de luz natural desorienta los ritmos circadianos, mientras que el ruido constante de la ventilación forzada y los motores genera una carga auditiva que eleva los niveles de cortisol y fatiga mental. La ventilación es un componente esencial, no solo para proveer oxígeno, sino para evacuar los gases de combustión de los equipos diesel y reducir la temperatura ambiente, que en minas profundas puede superar los 30°C, acelerando la deshidratación y la pérdida de concentración del personal (Beltran, 2022).

2.2.2. Naturaleza y Mecanismos Biológicos de la Fatiga Laboral

La fatiga laboral en el sector minero no debe entenderse simplemente como la necesidad de dormir, sino como un deterioro funcional que afecta la capacidad de un operador para realizar sus tareas de manera segura y eficiente. Este fenómeno se rige por dos procesos biológicos fundamentales: el proceso homeostático y el proceso circadiano. El proceso homeostático regula la presión del sueño, la cual aumenta con cada hora que la persona permanece despierta. Por otro lado, el proceso circadiano es un reloj biológico interno de aproximadamente 24 horas que regula los periodos de máxima alerta y somnolencia, influenciado principalmente por la exposición a la luz (Osinergmin, 2024).

En las operaciones mineras que funcionan las 24 horas del día, los operadores de equipos pesados suelen estar sujetos a turnos rotativos y jornadas atípicas. El trabajo nocturno obliga al cuerpo a operar en el momento en que el impulso circadiano de sueño es más fuerte, generalmente entre las 02:00 y las 05:00 horas. Durante este periodo, se produce una disminución de la temperatura corporal y de los niveles de alerta, lo que resulta en tiempos de reacción más lentos, fallas de memoria a corto plazo y una mayor propensión a los "microsueños". Un microsueño es un episodio breve de sueño que puede durar desde una fracción de segundo hasta 30 segundos, durante el cual el operador pierde por completo la conciencia de su entorno. En una rampa con una pendiente del 12%, un microsueño de solo dos segundos a una velocidad de 20 km/h puede resultar en un desplazamiento descontrolado del equipo de más de 11 metros, suficiente para impactar contra un hastial o caer por un tajo abierto (Osinergmin, 2024).

Además de los factores biológicos, la fatiga mental es inducida por la carga cognitiva de la tarea. Operar un jumbo de perforación en un frente de avance requiere una coordinación óculo-manual precisa y una vigilancia constante de las condiciones

del terreno (geomecánica). La monotonía de conducir un camión de bajo perfil en la misma rampa durante un turno de 12 horas genera un estado de hipovigilancia, donde el cerebro comienza a desconectarse de la tarea debido a la falta de estímulos variados. Los síntomas visibles de la fatiga incluyen bostezos frecuentes, pesadez de párpados, desorientación momentánea y una disminución en la capacidad de toma de decisiones complejas (Salas, 2021).

2.2.3. Incidentes y Accidentes Asociados a la Fatiga en el Perú

El análisis de las estadísticas de mortalidad y accidentabilidad en el sector minero peruano revela una correlación directa entre la operación de equipos móviles y la ocurrencia de eventos fatales. Según los boletines de la Gerencia de Supervisión Minera de Osinergmin, los accidentes relacionados con el transporte y la maquinaria representan históricamente la mayor proporción de víctimas mortales (Osinergmin, 2024).

Tabla 2. *Estadísticas de Incidentes y Accidentes por Fatiga*

Indicador Estadístico	Valor (Referencia 2020)	Detalle del Impacto
Mortalidad por Transporte/Maquinaria	77.00%	Principal causa de fatalidades en minas.
Accidentes en Superficie y Rampas	77.00%	Concentración de riesgos en vías de acarreo.
Víctimas en Empresas Contratistas	69.00%	Brecha en la gestión de seguridad de terceros.
Rango Horario Crítico	06:00 - 12:00	Periodo de transición de turnos y fatiga acumulada.
Experiencia con mayor siniestralidad	1 a 3 años	Falta de pericia combinada con exceso de confianza.

Nota. Los datos de la Tabla 2 han sido obtenidos de Osinergmin.

Los datos indican que la mayor cantidad de víctimas mortales ocurre por accidentes de tránsito vehicular en carreteras y rampas de acceso, siendo el despiste y las fallas mecánicas los modos de falla más comunes. Es relevante notar que, aunque

muchas veces se reporta una "falla mecánica", las investigaciones posteriores suelen revelar que la fatiga del operador impidió una respuesta adecuada ante la emergencia, como el uso del freno de motor o la rampa de alivio. La alta incidencia de accidentes en personal con 1 a 3 años de experiencia sugiere que, tras superar la curva de aprendizaje inicial, el operador puede relajar sus protocolos de autocuidado y descanso, aumentando su exposición al riesgo de fatiga (Osinergmin, 2024).

Un estudio realizado en un centro minero del Perú entre los años 2019 y 2020 demostró una correlación significativa (coeficiente de 0.960 en 2019) entre la duración de la jornada laboral y el índice de frecuencia de accidentes. Las jornadas laborales que exceden las 48 horas semanales incrementan drásticamente la fatiga acumulada, lo que se traduce en una mayor tasa de incidentes reportados. En el contexto de la rehabilitación de rampas, donde el avance se mide en metros lineales por turno, la presión por cumplir con el plan de minado anual a menudo lleva a una intensificación de la carga laboral, exacerbando este factor de riesgo (Gallardo, 2024).

2.2.4. Normas Aplicables a la Gestión de la Fatiga en el Perú

El marco regulatorio peruano ha evolucionado para reconocer la fatiga como un peligro crítico que debe ser gestionado dentro de un sistema integral de seguridad y salud ocupacional. La base legal se sustenta en la Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, y su Reglamento aprobado por el D.S. 005-2012-TR, los cuales establecen el principio de prevención y la responsabilidad del empleador en la identificación de todos los riesgos previsibles (DS. Nº 024-2016-EM, 2016).

En el sector minero específicamente, el Decreto Supremo 024-2016-EM, modificado por el D.S. 023-2017-EM, constituye el estándar de cumplimiento obligatorio. Esta norma exige que los titulares mineros establezcan un Sistema de

Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional que incluya el control de riesgos asociados a la fatiga y somnolencia (DS. Nº 024-2016-EM, 2016).

Obligaciones Clave Bajo el D.S. 024-2016-EM

1. **Liderazgo y Compromiso:** La alta gerencia debe asumir la responsabilidad de la prevención de incidentes, asegurando los recursos para la implementación de programas de gestión de la fatiga y promoviendo una cultura de seguridad proactiva (DS. Nº 024-2016-EM, 2016).
2. **Programa Anual de Seguridad (PASSO):** Este documento debe ser elaborado sobre la base de un diagnóstico situacional que identifique las áreas de mayor riesgo, como la operación de equipos en rampas subterráneas (DS. Nº 024-2016-EM, 2016).
3. **Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos (IPERC):** La fatiga debe ser incluida en la matriz IPERC de línea base y continua, evaluando factores como la duración de los turnos, la calidad de los campamentos y las condiciones ambientales de la labor (Castañeda, 2026).
4. **Capacitación:** Es obligatorio instruir a los trabajadores y supervisores en el reconocimiento de los síntomas de fatiga, técnicas de higiene del sueño y la importancia del reporte voluntario de cansancio excesivo (Salas, 2021).
5. **Reglamento Interno de Seguridad y Salud Ocupacional (RISSO):** Las empresas deben detallar en su RISSO los estándares para la conducción de equipos pesados, incluyendo pausas activas y protocolos de detención por somnolencia (Salas, 2021).

La fiscalización de estas normas recae sobre la SUNAFIL y Osinergmin. El incumplimiento de las medidas de control para la exposición a la fatiga es considerado una falta grave, ya que revierte en un riesgo inminente de accidentes mortales. Las

sanciones económicas por deficiencias en el IPERC o la ausencia de planes de seguridad pueden superar los S/ 100,000 por infracción.

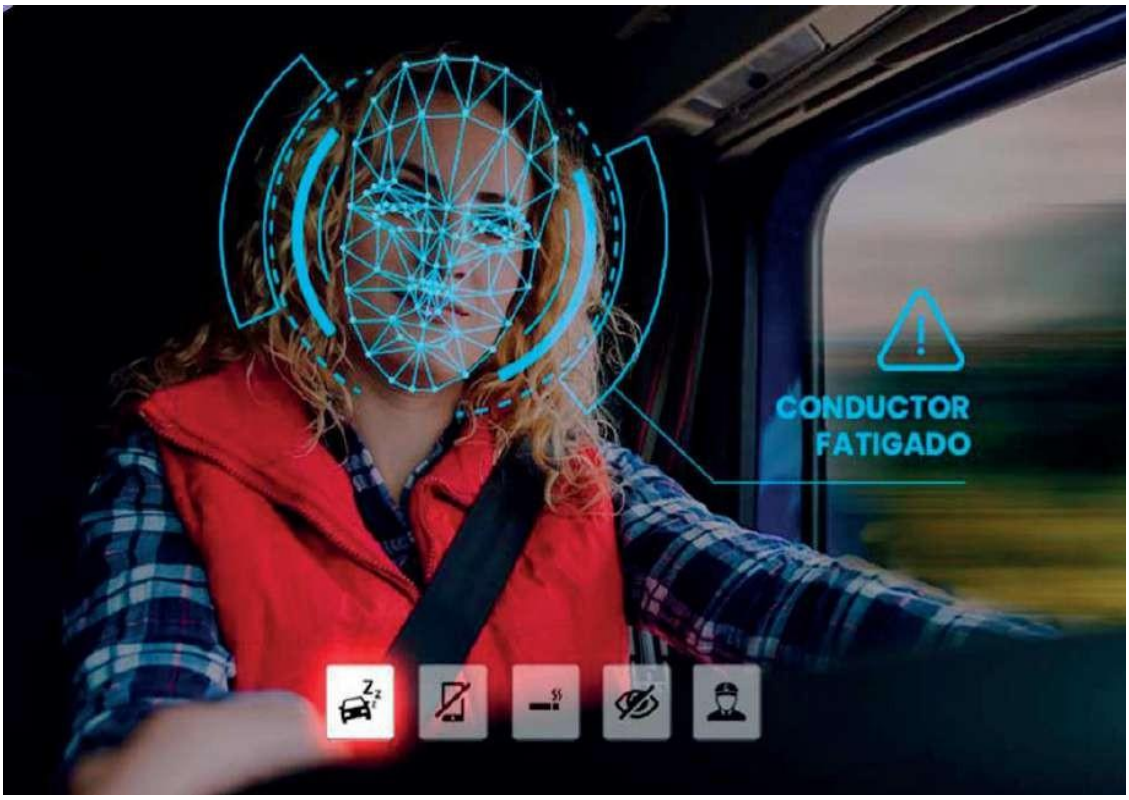
2.2.5. Sistemas de Gestión del Riesgo de Fatiga (FRMS)

Un Sistema de Gestión del Riesgo de Fatiga (FRMS) es un enfoque impulsado por datos y basado en la ciencia que permite una mejora continua en la seguridad operacional. A diferencia de la gestión tradicional, que se limita a prescribir límites de horas de trabajo, el FRMS reconoce que la fatiga no puede eliminarse por completo en operaciones 24/7 y, por lo tanto, busca gestionarla para mantenerla dentro de niveles aceptables de riesgo.

El Modelo de Capas de Defensa de Dawson

El modelo teórico más robusto para la implementación de un FRMS es el de las capas de defensa, propuesto por Drew Dawson. Este enfoque sugiere cinco niveles de control que actúan como barreras para evitar que la fatiga resulte en un accidente (Fedele, 2024). Ver la Figura 1 y la Figura 2.

Figura 1. *Conductor Fatigado*



Nota. La Figura 1 ha sido extraída de (Fedele, 2024, p. 14).

Figura 2. *Sistema de Manejo del Riesgo de Fatiga Efectivo*



Nota. La Figura 2 ha sido extraída de (Fedele, 2024, p. 19).

- **Nivel 1: Oportunidades de sueño (Evaluación del esquema de turnos):** Se analizan los horarios de trabajo para asegurar que, teóricamente, el personal tenga suficiente tiempo para dormir. Aquí se utilizan modelos biomatemáticos para predecir el riesgo de diferentes configuraciones de turnos (ej. 14x7 vs 7x7) (Fedele, 2024).
- **Nivel 2: Sueño real obtenido:** Se monitorea si el trabajador realmente aprovechó la oportunidad de descanso. Esto puede gestionarse mediante autodeclaraciones diarias o dispositivos vestibles (wearables) que miden la calidad del sueño (Fedele, 2024).
- **Nivel 3: Síntomas y conductas de fatiga:** Se implementan protocolos para detectar signos visibles de cansancio antes de que ocurra un error. Los supervisores y compañeros desempeñan un papel clave en la observación mutua y las pausas activas (Fedele, 2024).
- **Nivel 4: Errores relacionados con la fatiga:** Se utilizan tecnologías de monitoreo en tiempo real, como cámaras de fatiga en cabina que detectan bostezos o cierre de ojos, para intervenir antes de que un error se convierta en un incidente (Fedele, 2024).
- **Nivel 5: Análisis de incidentes:** Se investigan los eventos ocurridos para identificar si la fatiga fue una causa raíz y retroalimentar el sistema para mejorar las capas anteriores (Fedele, 2024).

Modelado Biomatemático y Tecnología Predictiva

El Modelo Biomatemático de Fatiga SAFTE (Sleep, Activity, Fatigue & Task Effectiveness) es la piedra angular de los sistemas predictivos modernos. Este algoritmo calcula la efectividad de una persona basándose en su historial de sueño acumulado, su ritmo circadiano y su inercia del sueño. Tecnologías como la plataforma **Readi**

combinan el modelo SAFTE con aprendizaje automático (machine learning) para proporcionar una puntuación de riesgo (ReadiScore) hora a hora para cada operador. Esto permite a los despachadores y supervisores de mina predecir quién se convertirá en un riesgo crítico horas antes de que ocurra, facilitando decisiones proactivas como el cambio de tareas o la concesión de descansos estratégicos.

Figura 3. *ReadiScore: Predicción de la Fatiga Hora a Hora*



El **ReadiScore** es el resultado del Modelo SAFTE, una predicción de los cambios hora a hora en la eficacia cognitiva, el tiempo de reacción y la probabilidad de lapsus a lo largo del día o la noche. La fatiga progresa de forma predecible, y el Modelo SAFTE no sólo tiene en cuenta el historial de sueño acumulado, sino también factores como el reloj interno del cuerpo y la exposición estacional a la luz en función de la ubicación geográfica general.

2.2.6. Repercusión Económica de los Accidentes para la Empresa

Los accidentes laborales en la minería subterránea tienen consecuencias financieras profundas y multifacéticas. El análisis de costos se divide tradicionalmente

entre costos directos e indirectos, utilizando a menudo la metáfora del iceberg para ilustrar que los costos ocultos suelen ser significativamente mayores que los gastos inmediatos y asegurados.

Tabla 3. *Clasificación de Costos por Accidentes Laborales*

Categoría de Costo	Ejemplos Específicos	Impacto Financiero
Costos Directos	Gastos médicos, indemnizaciones por ley, reparación de equipo, primas de seguros.	Identificables y cuantificables de forma inmediata.
Costos Indirectos	Tiempo de inactividad de la rampa, investigación del accidente, pérdida de productividad, daños reputacionales.	Suelen ser 4 a 10 veces mayores que los directos.
Costos Fijos de Prevención	Auditorías, sistemas de monitoreo (FRMS), capacitación, equipos de protección personal.	Inversión necesaria para reducir el costo total.
Costos Variables de Accidente	Multas de SUNAFIL, juicios legales por negligencia, horas extras para cubrir personal.	Gastos imprevistos que afectan el flujo de caja.

El costo de la inactividad en una rehabilitación de rampa es particularmente elevado. Si un camión de acarreo sufre un accidente por fatiga en la rampa principal, el flujo de mineral y el avance del desarrollo se detienen por completo. Cada hora de detención puede representar miles de dólares en pérdida de ingresos potenciales. Un ejemplo práctico basado en datos de la industria muestra que una fractura de tibia de un operador por falta de seguridad (o error por fatiga) puede involucrar más de 300 días de descanso médico, donde la empresa asume el costo de las horas-hombre perdidas, la gestión administrativa y la pérdida de productividad, que puede ser valorada en decenas de miles de dólares por evento individual.

La optimización económica se alcanza al determinar el **Nivel Óptimo de Prevención**. Esto implica que la inversión en un Sistema de Gestión de la Fatiga es rentable cuando la reducción esperada en los costos por accidentes supera el costo de

implementación del sistema. En la minería moderna, se ha demostrado que sistemas como Readi pueden ofrecer un retorno de inversión en tan solo 30 días al reducir los incidentes con pérdida de tiempo en un 26% y mejorar la eficiencia operativa global.

2.2.7. Impacto a la Población Afectada y Responsabilidad Social

Los accidentes mineros derivados de la fatiga no solo afectan a la corporación, sino que tienen repercusiones profundas en la vida de los trabajadores, sus familias y las comunidades locales. El impacto social es un factor determinante en la sostenibilidad a largo plazo de cualquier proyecto minero en el Perú (Gallardo, 2024).

Consecuencias para el Trabajador y su Entorno Familiar

Para el trabajador, un accidente grave puede significar una discapacidad parcial o total, eliminando su capacidad de sustento económico y afectando su salud mental a través de cuadros de estrés postraumático. La familia sufre una carga emocional incalculable y, a menudo, una inestabilidad financiera que afecta la educación y el bienestar de los hijos. Además, la carga laboral excesiva que conduce a la fatiga suele estar vinculada al síndrome de Burnout, lo que degrada la calidad de vida familiar incluso en ausencia de accidentes físicos (Gallardo, 2024).

Impacto en las Comunidades y la Licencia Social

La seguridad de las operaciones mineras es una preocupación central para las poblaciones situadas en las zonas de influencia directa e indirecta. Accidentes frecuentes, especialmente aquellos que ocurren en carreteras de acceso compartidas con la población, erosionan la confianza pública y pueden desencadenar conflictos socioambientales (Manrique & Sanborn, 2021).

a. **Seguridad Vial en el Corredor Minero:** En casos como Las Bambas, el tránsito de cientos de camiones pesados diariamente por vías no asfaltadas ha generado tensiones extremas. Los accidentes en estas rutas, muchas veces causados por la

fatiga del conductor en trayectos largos, han resultado en muertes de comuneros y posteriores estados de emergencia (Rg, 2019).

b. **Percepción de Irresponsabilidad:** La falta de sistemas robustos para controlar la fatiga es percibida por las comunidades como una priorización del beneficio económico sobre la vida humana. Esto debilita la "licencia social", fundamental para futuras expansiones o nuevos proyectos (Rg, 2019).

c. **Salud Pública y Medio Ambiente:** Aunque la fatiga es un riesgo ocupacional, su gestión deficiente puede llevar a catástrofes ambientales (ej. derrame de concentrados por volcadura) que afectan el derecho humano al agua y un ambiente sano para las comunidades locales (Rg, 2019).

2.2.8. Control de Fatiga en el Sector Minero Peruano

Varias empresas mineras en el Perú han liderado la adopción de tecnologías avanzadas para mitigar el riesgo de fatiga en sus operaciones. Casos como Quellaveco (Anglo American), **Volcan** y Nexa Resources sirven como referentes de mejores prácticas.

El caso de Anglo American Quellaveco

En la unidad minera Quellaveco, la gestión de la fatiga se aborda mediante un sistema tripartito de defensa tecnológica:

- **Vigilancia de la Calidad del Sueño:** Uso de dispositivos vestibles (smartwatches) que monitorean el descanso del operador fuera de su turno y proporcionan una alerta de riesgo antes de iniciar la jornada.
- **Sistemas ADAS:** Sensores avanzados de asistencia al conductor que corrigen comportamientos peligrosos en tiempo real.

Figura 4. *Operador del Equipo Implementado con el Sistema ADAS*



- **Sistema Hexagon OAS:** Cámaras en cabina que utilizan algoritmos de visión artificial para detectar distracciones o signos de somnolencia, emitiendo alertas audibles y vibratorias inmediatas.

Figura 5. *Sistema Exagon OAS*



Figura 6. *Equipo Pesado Implementado con el Sistema Exagon OAS*



Avances en Nexa Resources (Cerro Lindo)

Nexa Resources ha enfocado sus esfuerzos en la innovación digital y la eficiencia operativa. En Cerro Lindo, la implementación de tecnologías de gemelo digital ha permitido optimizar los procesos de molienda y procesamiento de minerales, reduciendo la necesidad de intervenciones manuales críticas y, por ende, disminuyendo la exposición del personal a tareas fatigantes. Asimismo, la adopción de revestimientos magnéticos en molinos ha reducido drásticamente las horas-hombre necesarias para el mantenimiento, una de las tareas más físicamente agotadoras en una planta, reportando 0 accidentes durante estos procesos críticos.

2.2.9. Estrategias para una Implementación Exitosa del FRMS

Para que un Sistema de Gestión de la Fatiga sea efectivo en la rehabilitación de una rampa subterránea, debe integrarse de manera fluida en la operación diaria y contar con el respaldo de todos los niveles de la organización.

1. **Fase de Preparación y Diagnóstico:** Identificar los "puntos calientes" de fatiga mediante el análisis de datos históricos de incidentes y el modelado de los turnos

actuales. Es vital realizar una línea base de la calidad del sueño del personal en campamento.

2. **Educación e Higiene del Sueño:** El personal debe entender que la fatiga no es una falta de voluntad, sino un límite biológico. Se deben impartir estrategias para mejorar el descanso, como el control de la luz azul, la dieta equilibrada y la evitación del alcohol y estimulantes antes de dormir.
3. **Implementación de Tecnología Predictiva:** Adoptar software como SAFTE-FAST para la planificación de horarios y dispositivos de monitoreo en tiempo real para la operación de equipos pesados en rampas.
4. **Protocolos de Intervención:** Definir acciones claras cuando se detecta un riesgo. Esto incluye "zonas de reactivación" en la mina para pausas activas, el uso de siestas estratégicas de 20 minutos y la rotación de tareas de alta carga cognitiva a baja.
5. **Cultura de Reporte Justo:** Eliminar el estigma de reportar fatiga. La política debe asegurar que el reporte voluntario no conlleva sanciones, sino que es un acto de responsabilidad que previene tragedias.

La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga para prevenir incidentes en operadores de equipos durante la rehabilitación de rampas en minería subterránea es un imperativo que combina la ingeniería de precisión con la ciencia del comportamiento humano. La rampa, como arteria vital de la mina, presenta riesgos inherentes debido a su geometría y condiciones ambientales, los cuales son amplificados por la degradación de las capacidades de los operadores afectados por la falta de descanso.

La transición hacia sistemas predictivos (FRMS) basados en modelos biomatemáticos como SAFTE y tecnologías de monitoreo en tiempo real representa el estándar de excelencia al que debe aspirar la minería peruana. Estas herramientas no

solo protegen la vida de los trabajadores, reduciendo los accidentes mortales en un sector donde el transporte representa el 77% de las fatalidades, sino que también salvaguardan la estabilidad económica de las empresas al evitar los masivos costos indirectos de los siniestros.

Finalmente, la sostenibilidad de la minería en el Perú depende de una integración armoniosa con su entorno social. Gestionar la fatiga es, en última instancia, un acto de responsabilidad social corporativa que fortalece la licencia para operar al garantizar que cada trabajador regrese sano a su hogar y que las comunidades locales no se vean afectadas por las consecuencias colaterales de una operación insegura. Se recomienda a los titulares mineros y empresas contratistas estandarizar sus protocolos de descanso, invertir en tecnología de alerta temprana y, sobre todo, empoderar a sus colaboradores para que el autocuidado sea el valor supremo en cada metro de avance de la rampa.

2.2.10. Generalidades de la Mina

Ubicación y Accesibilidad

Ubicación:

Respecto a la ubicación de la Unidad Minera de Cerro de Pasco:

Esta se encuentra ubicada en los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar de la provincia y departamento de Pasco. La temperatura promedio de la zona es 6.8º C, la humedad 74%, la precipitación 910 mm/año. Dentro del entorno de la Unidad Minera se encuentra las comunidades campesinas y ganaderas de Santa Ana de Tusi, Champamarca, Rancas, Quiulacocha y Yurajhuanca. (Espinoza, 2023, p. 9)

Accesibilidad:

El acceso a la Unidad Minera se realiza de la siguiente manera:

Tabla 4. *Distancias de Acceso a la Unidad Minera*

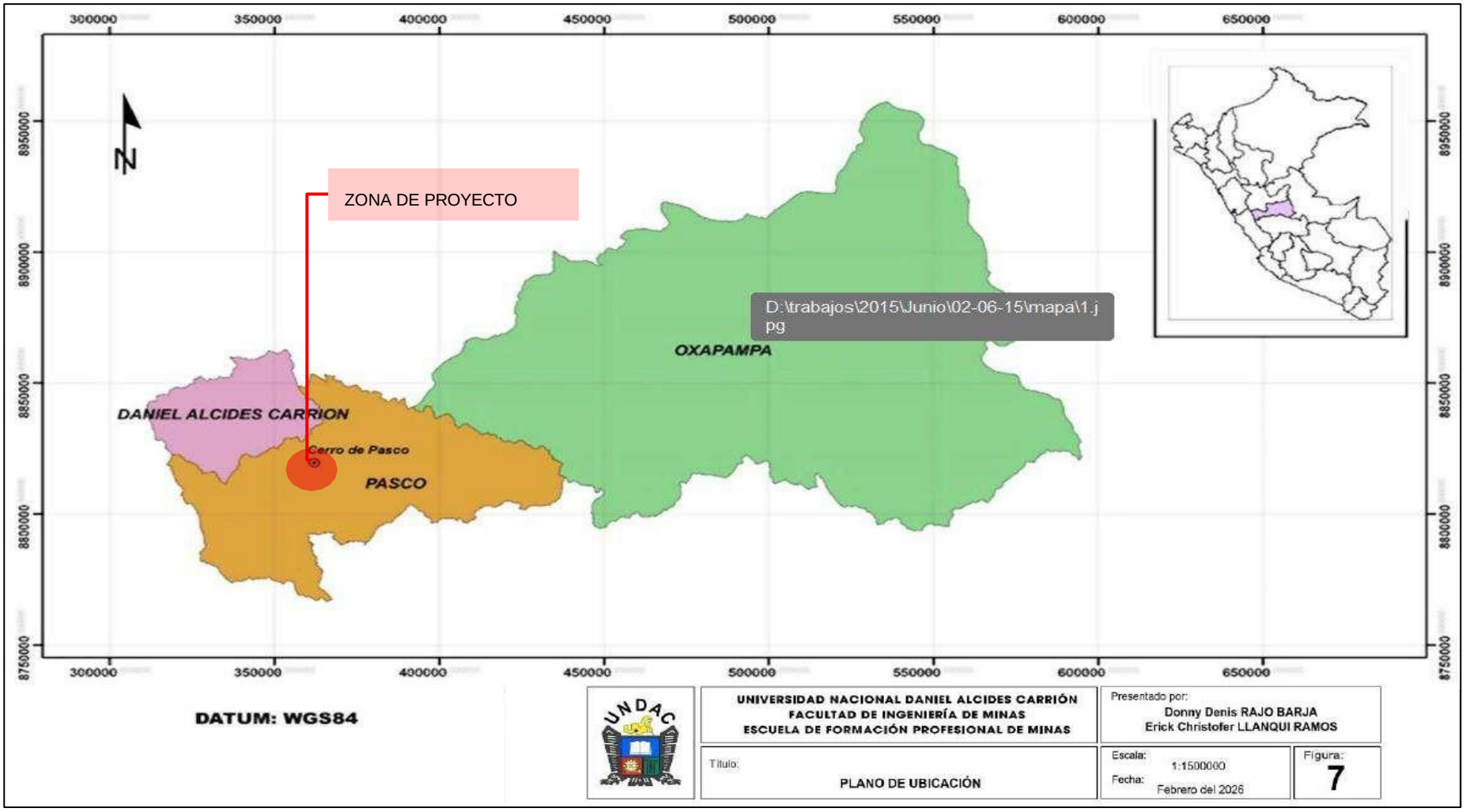
Tramo	Distancia	Tiempo	Estado de Vía
Lima-Oroya-Cerro de Pasco (carretera central)	315 km	7 horas	Carretera asfaltada
Lima-Canta-Cerro de Pasco (Carretera afirmada)	410 km	8 horas	Carretera asfaltada y afirmada
Lima-Oroya-Cerro de Pasco (Vía férrea)	315 km	10 horas	Vía férrea

Ver la Figura 7 y la Figura 8.

Análisis Operativo de la Unidad Minera de Cerro de Pasco

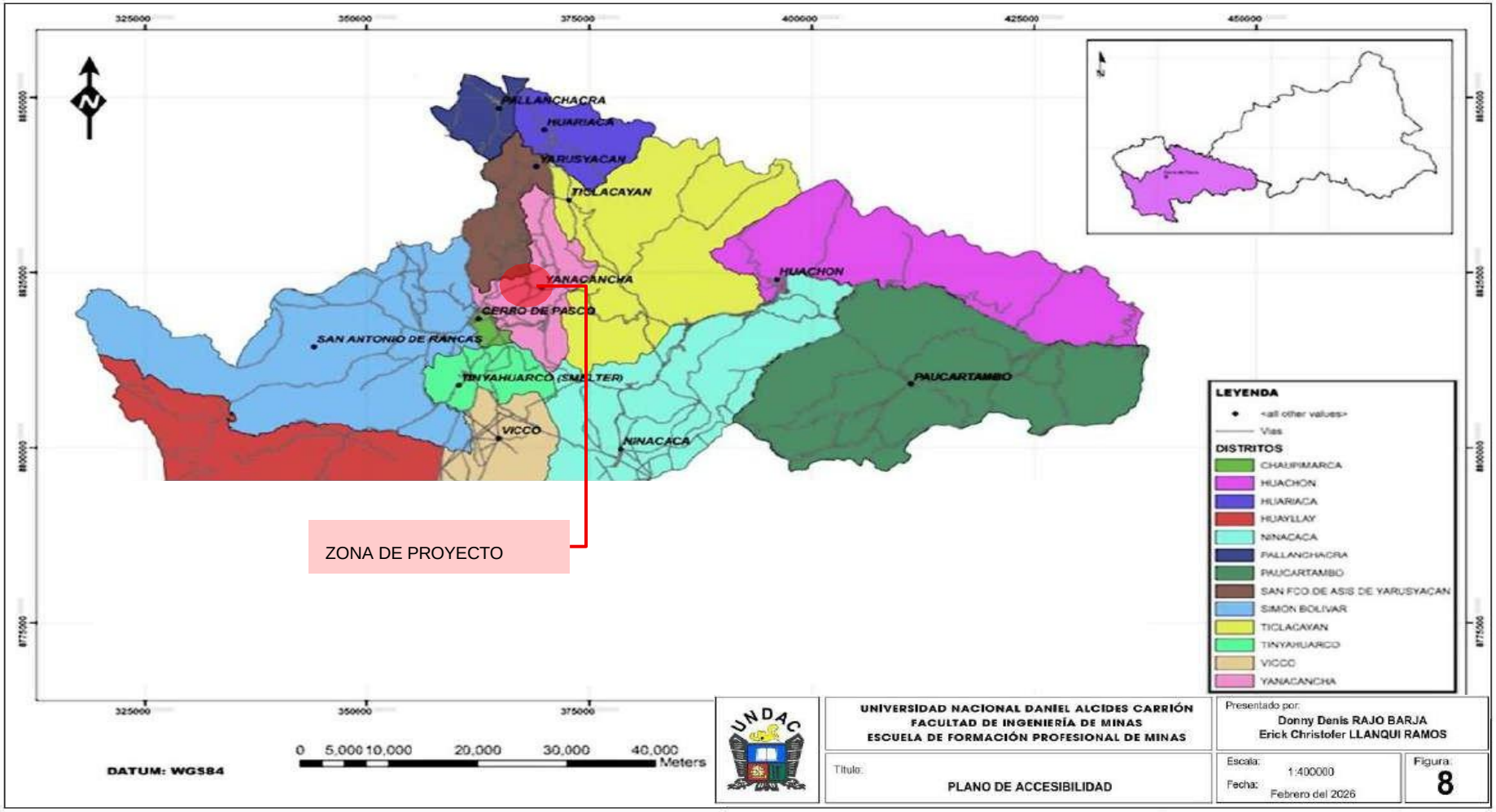
La industria minera global reconoce a los Andes Centrales del Perú como una de las provincias metalogénicas más prolíficas de la Tierra, y dentro de este contexto, la Unidad Cerro de Pasco de Volcan Compañía Minera S.A.A. se destaca como un activo de relevancia histórica, geológica y económica excepcional. Esta unidad no representa únicamente un centro de producción polimetálica; constituye el núcleo de una tradición extractiva que ha moldeado la economía peruana durante siglos, evolucionando desde la minería de subsistencia prehispánica hasta convertirse en un complejo industrial de alta tecnología operado bajo estándares internacionales de eficiencia y sostenibilidad. La gestión de esta unidad, realizada primordialmente a través de la subsidiaria Empresa Administradora Cerro S.A., refleja la capacidad de adaptación de la minería peruana frente a los ciclos económicos globales, los desafíos geomecánicos de la alta montaña y las demandas de un mercado que exige, cada vez más, metales críticos como el zinc, el plomo y la plata para la transición energética y el desarrollo tecnológico (Cotrina, 2024).

Figura 7. *Plano de Ubicación*



Nota. El plano de la Figura 7 ha sido obtenido de (Zarate, 2023).

Figura 8. *Plano de Accesibilidad*



Nota. El plano de la Figura 8 ha sido obtenido de (Zarate, 2023).

Descripción y Perfil Corporativo de la Empresa

Volcan Compañía Minera S.A.A. es una entidad diversificada con una trayectoria de más de ocho décadas en el sector minero peruano, habiendo iniciado formalmente sus operaciones en 1943 en las alturas del abra de Ticlio. A lo largo de su historia, la compañía ha pasado de ser una operación local a consolidarse como uno de los diez principales productores de zinc y plata a nivel mundial, manteniendo una presencia dominante en la sierra central del Perú. La Unidad Cerro de Pasco es una pieza fundamental en su portafolio de activos, caracterizándose por una integración operativa que abarca la extracción, el beneficio de minerales y la gestión de infraestructura energética propia (Soyer & Fernando, 2023).

La gobernanza corporativa de Volcan experimentó un cambio trascendental en mayo de 2024. Tras años de liderazgo bajo el control de Glencore International AG, se concretó la venta definitiva de la participación de esta última a Transition Metals AG, una subsidiaria de Integra Capital, empresa de capitales panameños y argentinos con inversiones en múltiples industrias de materias primas. Este cambio de control, que implicó la adquisición del 55% de las acciones comunes Clase A y el 22.1% del capital social, marca el inicio de una nueva estrategia orientada a la eficiencia operativa máxima y al fortalecimiento del balance financiero de la compañía en un entorno de precios favorables para los metales base (Soyer & Fernando, 2023).

La operación en Cerro de Pasco es administrada mediante una estructura de subsidiarias que permite una gestión especializada de los diversos procesos industriales y ambientales. Esta configuración es vital para manejar la complejidad de una unidad que combina minería subterránea, procesamiento de materiales históricos y una planta de óxidos de última generación (Soyer & Fernando, 2023).

Tabla 5. *Subsidiarias de Volcan Unidad Cerro de Pasco*

Entidad Legal	Actividad Principal y Objeto Social
Empresa Administradora Cerro S.A.	Extracción y explotación de minerales metalíferos no ferrosos en la zona de Pasco.
Óxidos de Pasco S.A.C.	Tratamiento de minerales oxidados y fundición de metales preciosos (doré de Ag/Au).
Empresa Minera Paragsha S.A.C.	Titularidad de concesiones y extracción de otros minerales metalíferos.
Compañía Hidroeléctrica Tingo S.A.	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica para las operaciones mineras.

Historia y Evolución de la Unidad Minera de Cerro de Pasco

La historia de Cerro de Pasco es intrínseca a la formación de la identidad minera del Perú. La actividad en la zona tiene raíces que se extienden hasta el periodo prehispánico, cuando las comunidades locales ya explotaban depósitos superficiales de plata en la zona conocida como Yauricocha. Sin embargo, la escala industrial se alcanzó con la colonización española y, más dramáticamente, a principios del siglo XX con la llegada de capitales estadounidenses a través de la Cerro de Pasco Copper Corporation (CPCC) en 1902 (Vila, 2020).

Bajo la CPCC, Cerro de Pasco se convirtió en un centro de innovación tecnológica, donde se instalaron algunas de las primeras líneas ferroviarias y centrales hidroeléctricas del país para alimentar una operación que crecía de manera exponencial. En 1956, la transición hacia el método de tajo abierto con la creación del Tajo Raúl Rojas marcó un hito geográfico y social, desplazando gran parte de la ciudad original para permitir la extracción masiva de sulfuros de zinc y plomo. Tras la nacionalización de la industria en 1974 y la creación de Centromin Perú, la unidad pasó a ser operada por el Estado hasta finales de la década de 1990 (Vila, 2020).

El ingreso de Volcan a Cerro de Pasco ocurrió en 1999, mediante la adquisición de la Empresa Minera Paragsha S.A. en un proceso de privatización que le permitió a la compañía dar un salto cualitativo en su producción de zinc, convirtiéndose en el líder

nacional del sector. Desde entonces, Volcan ha gestionado la transición del agotamiento de las reservas de tajo abierto hacia el procesamiento de stocks marginales y el desarrollo de minería subterránea profunda, adaptándose a las realidades geológicas cambiantes del yacimiento (Apoyo y Asociados, 2025).

- **1532 - 1578:** Primeras evidencias de explotación de oro y plata por los conquistadores españoles en la zona de Yauricocha (Vila, 2020).
- **1902:** Formación de la Cerro de Pasco Copper Corporation, iniciando la era de la minería industrial masiva (Vila, 2020).
- **1956:** Inicio de la explotación mediante tajo abierto (Tajo Raúl Rojas), transformando la morfología urbana de la ciudad (Vila, 2020).
- **1999:** Volcan adquiere Paragsha y la unidad Cerro de Pasco, consolidando su posición como mayor productor de zinc en Perú (Vila, 2020).
- **2012:** Suspensión temporal de la extracción activa en el Tajo Raúl Rojas, pasando a una fase de tratamiento de stockpiles y preparación para futuras expansiones (Vila, 2020).
- **2014:** Inauguración de la Planta de Óxidos y de la unidad operativa Alpamarca, diversificando la producción hacia metales preciosos (Vila, 2020).
- **2024:** Cambio de control accionarial mayoritario de Glencore a Transition Metals AG (Integra Capital) y escisión del bloque patrimonial del Puerto de Chancay (Vila, 2020).

La permanencia de la actividad minera en Cerro de Pasco por más de un siglo evidencia la resiliencia de su modelo operativo y la riqueza excepcional de sus depósitos, los cuales continúan revelando nuevas zonas de interés económico a través de campañas de exploración diamantina de vanguardia (Vila, 2020).

Geología Regional

La Unidad Cerro de Pasco se sitúa en la Cordillera Occidental de los Andes Centrales del Perú, en una zona de intensa actividad tectónica y magmática que ha favorecido la formación de depósitos polimetálicos de clase mundial. Estructuralmente, el yacimiento se encuentra controlado por el denominado Corredor Estructural Cerro de Pasco – Yauli, una de las estructuras más importantes de dirección Norte-Sur (N-S) en el Perú, con una extensión superior a los 240 km de largo y 15 km de ancho (R. O. Rodriguez et al., 2020).

Este corredor ha sido el motor fundamental del control de la sedimentación mesozoica en la región, marcando el límite oriental de la Cuenca Mesozoica Occidental donde se depositó el Grupo Pucará. La reactivación de estas fallas profundas durante el Cenozoico permitió que el corredor actuara como una vía de ascenso para fluidos hidrotermales y magma, resultando en el emplazamiento de yacimientos de tipo reemplazamiento de carbonatos y sistemas de alta sulfuración (R. O. Rodriguez et al., 2020).

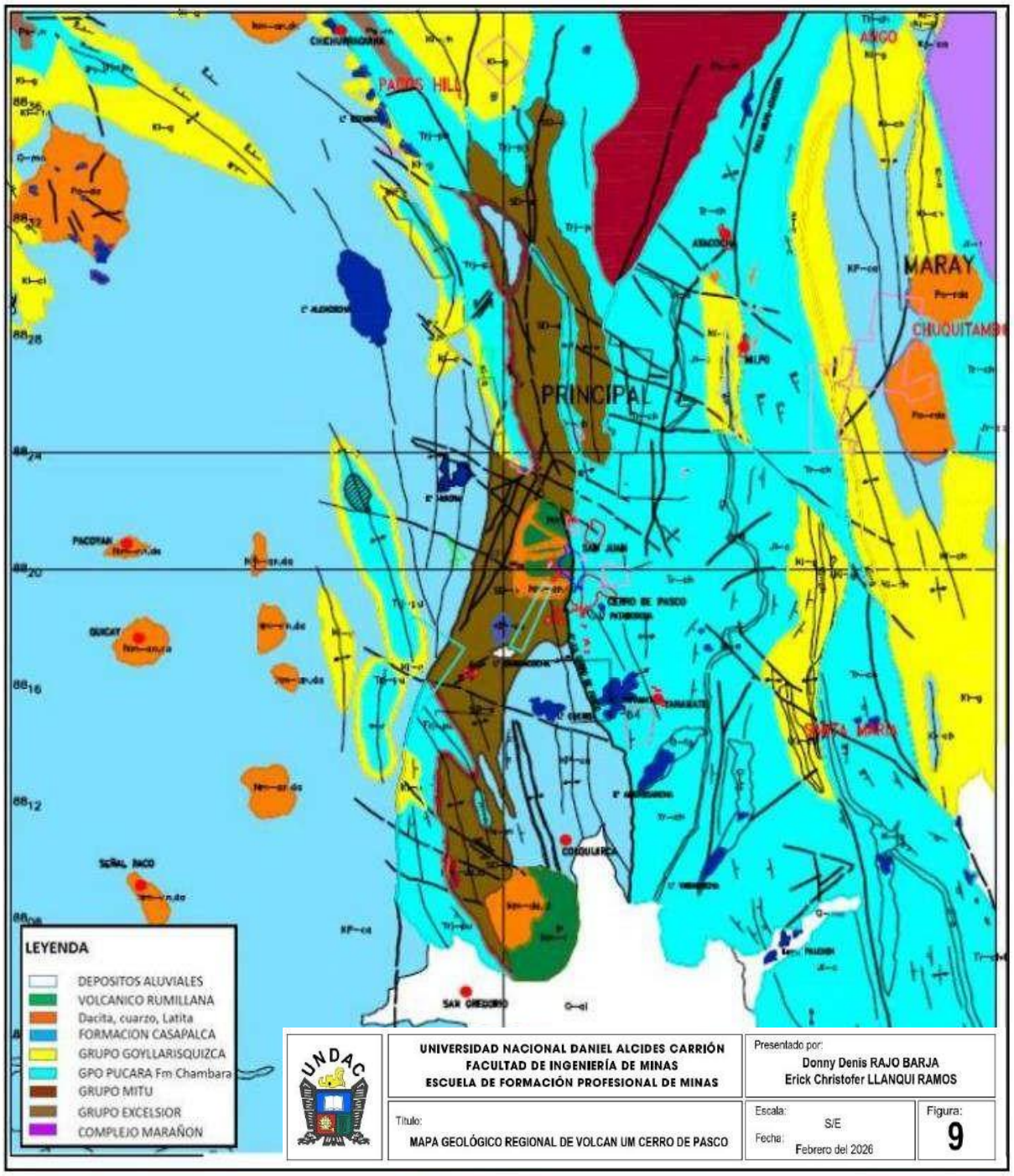
Tabla 6. *Secuencia Estratigráfica Regional (Cuadrángulo 22-k)*

Era / Periodo	Unidad Litoestratigráfica	Descripción Litológica y Relevancia Geológica
Neoproterozoico	Complejo Metamórfico del Marañón	Basamento regional compuesto por filitas, esquistos y metasedimentos cuarzo-micáceos.
Paleozoico (Devoniano)	Grupo Excelsior	Pizarras, filitas y cuarcitas gris oscuras que forman el núcleo del anticlinal de Cerro.
Misisipiano	Grupo Ambo	Areniscas cuarzosas blanquecinas con intercalaciones de lutitas negras y carbón.
Era / Periodo	**Unidad Litoestratigráfica**	**Descripción Litológica y Relevancia Geológica**
Pérmico	Grupo Mitu	Secuencia de areniscas rojas, limolitas y brechas volcánicas de ambiente continental.
Triásico - Jurásico	Grupo Pucará	Calizas masivas y dolomitas fétidas (Fm. Chambará). Es la principal roca receptora de mineral.
Cretáceo	Grupo Goyllarisquizga	Areniscas cuarzosas potentes (Fm. Chimú y Farrat) y calizas margosas (Fm. Chúlec y Pariatambo).
Eoceno – Oligoceno	Formación Pocobamba	Conglomerados de clastos calizos (Miembro Shuco) y calizas lacustrinas.
Mioceno	Complejo Volcánico Rumillana	Diatrema y domos dacíticos/cuarzo-latíticos vinculados a la mineralización (~14.8 Ma).

Nota. El contenido de la Tabla 6 le pertenece a (Rodriguez, 2003).

La interacción entre el basamento metamórfico del Complejo Marañón y la cobertura sedimentaria mesozoica es crucial para entender la arquitectura del yacimiento. Las fallas inversas y los pliegues resultantes de la inversión tectónica andina generaron las trampas estructurales necesarias para que los fluidos mineralizantes, provenientes de fuentes magmáticas profundas, reemplazaran selectivamente los horizontes de caliza del Grupo Pucará (Rodriguez, 2003).

Figura 8. *Mapa Geológico Regional de Volcan UM Cerro de Pasco*



Nota. El mapa de la Figura 9 ha sido obtenido de (Marcelo, 2024, p. 30)

Geología Local del Yacimiento

El yacimiento de Cerro de Pasco es un ejemplo clásico de un depósito polimetálico de reemplazamiento en carbonatos relacionado con un complejo de diatrema-domo del Mioceno. La geología local está dominada por un gran cuerpo

central de pirita-cuarzo de geometría irregular que se extiende verticalmente por más de un kilómetro y es el resultado de una alteración hidrotermal masiva y prolongada (Rodriguez, 2003).

a) La Diatrema Rumillana y el Complejo Volcánico

El centro neurálgico del sistema es la Diatrema Rumillana, una estructura de brecha volcánica compuesta por fragmentos de las rocas preexistentes (Grupo Excelsior y Pucará) en una matriz de ceniza volcánica y material ígneo dacítico. Dataciones geocronológicas sitúan este evento explosivo hace aproximadamente 14.8 millones de años, coincidiendo con el pico de actividad magmática en la franja central de los Andes. Alrededor de esta diatrema se emplazaron domos y diques de cuarzo-latita que aportaron el calor y los fluidos necesarios para la lixiviación de metales de las rocas del basamento y su posterior deposición en las calizas circundantes (Rodriguez, 2003).

b) Tipos de Mineralización y Alteración

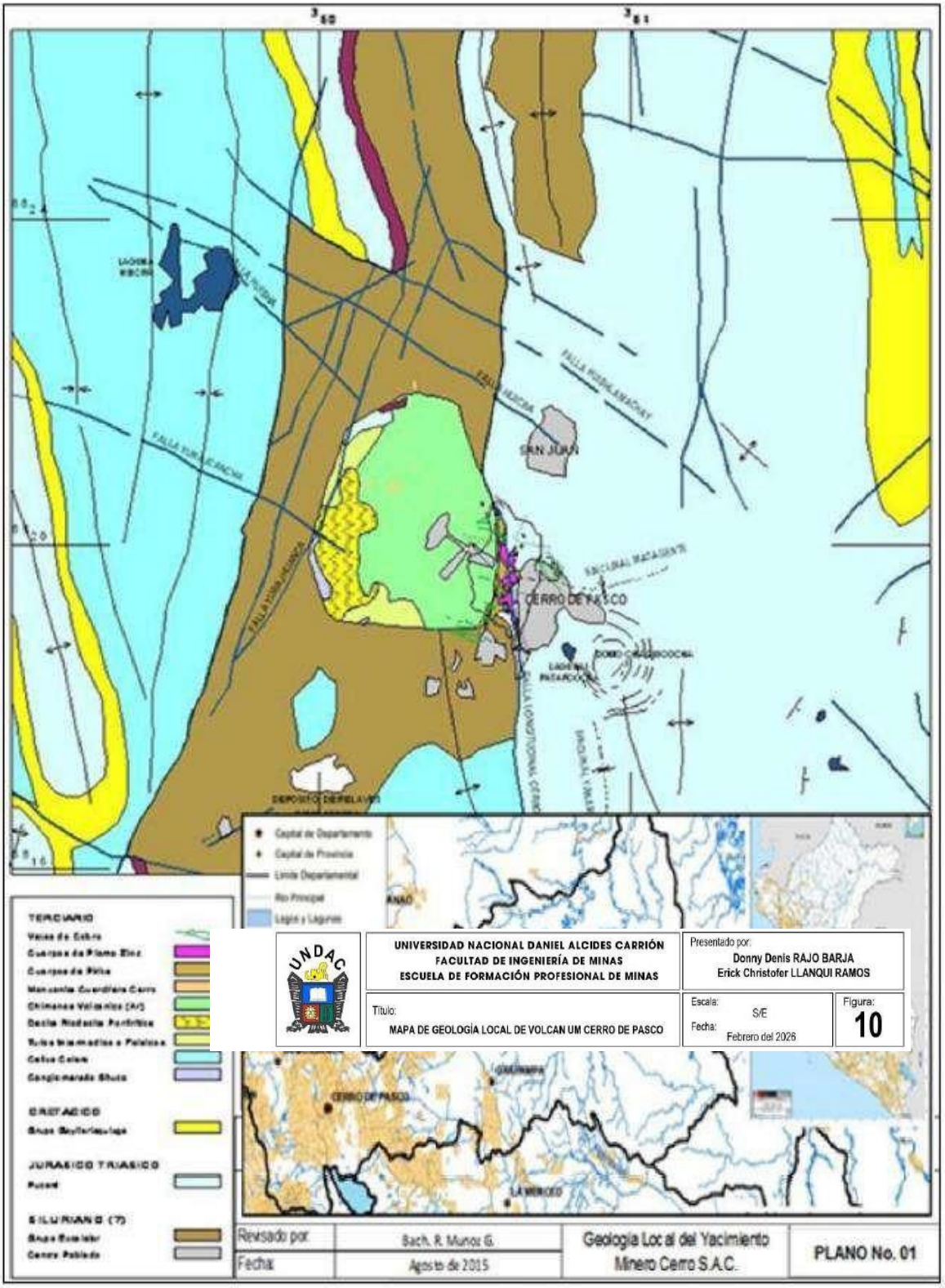
La mineralización en Cerro de Pasco se distribuye en tres dominios principales que han sido explotados de manera diferenciada a lo largo del tiempo:

1. **Cuerpos Masivos de Sulfuros de Zinc-Plomo-Plata:** Localizados principalmente en el contacto oriental de la masa de pirita con las calizas del Grupo Pucará. Estos cuerpos, conocidos como "mantos", presentan una mineralogía de esfalerita, galena argentífera y pirita, con leyes que han sostenido la operación por décadas (Rodriguez, 2003).
2. **Sistemas de Vetas y Relleno de Fracturas:** Estructuras tensionales que cortan tanto a la masa de pirita como a las rocas encajonantes. Contienen enargita, calcopirita y plata, representando eventos de mineralización de mayor temperatura y sulfuración (Rodriguez, 2003).

3. **Zonas de Óxidos Superficiales:** Producto del intemperismo y la oxidación de los sulfuros primarios. Estas zonas, ricas en jarosita, hematita y oro/plata nativa, alimentan actualmente a la Planta de Óxidos mediante procesos de lixiviación dinámica (Rodriguez, 2003).

La alteración hidrotermal es intensa y se manifiesta mediante halos de silicificación, sericitización y una fuerte sideritización en las calizas, lo que sirve como guía visual y geoquímica para las labores de exploración minera (Rodriguez, 2003).

Figura 9. Mapa de Geología Local de Volcan UM Cerro de Pasco



Nota. El mapa de la Figura 10 ha sido obtenido de (Muñoz, 2019).

Geología Estructural y Controles de Mineralización

La arquitectura estructural de Cerro de Pasco es el resultado de múltiples fases de deformación compresiva y extensiva. El rasgo más sobresaliente es el Anticlinal de Cerro, una estructura asimétrica de dirección N-S cuyo eje se hunde suavemente hacia el norte, exponiendo en su núcleo las rocas paleozoicas del Grupo Excelsior (Rodriguez et al., 2020).

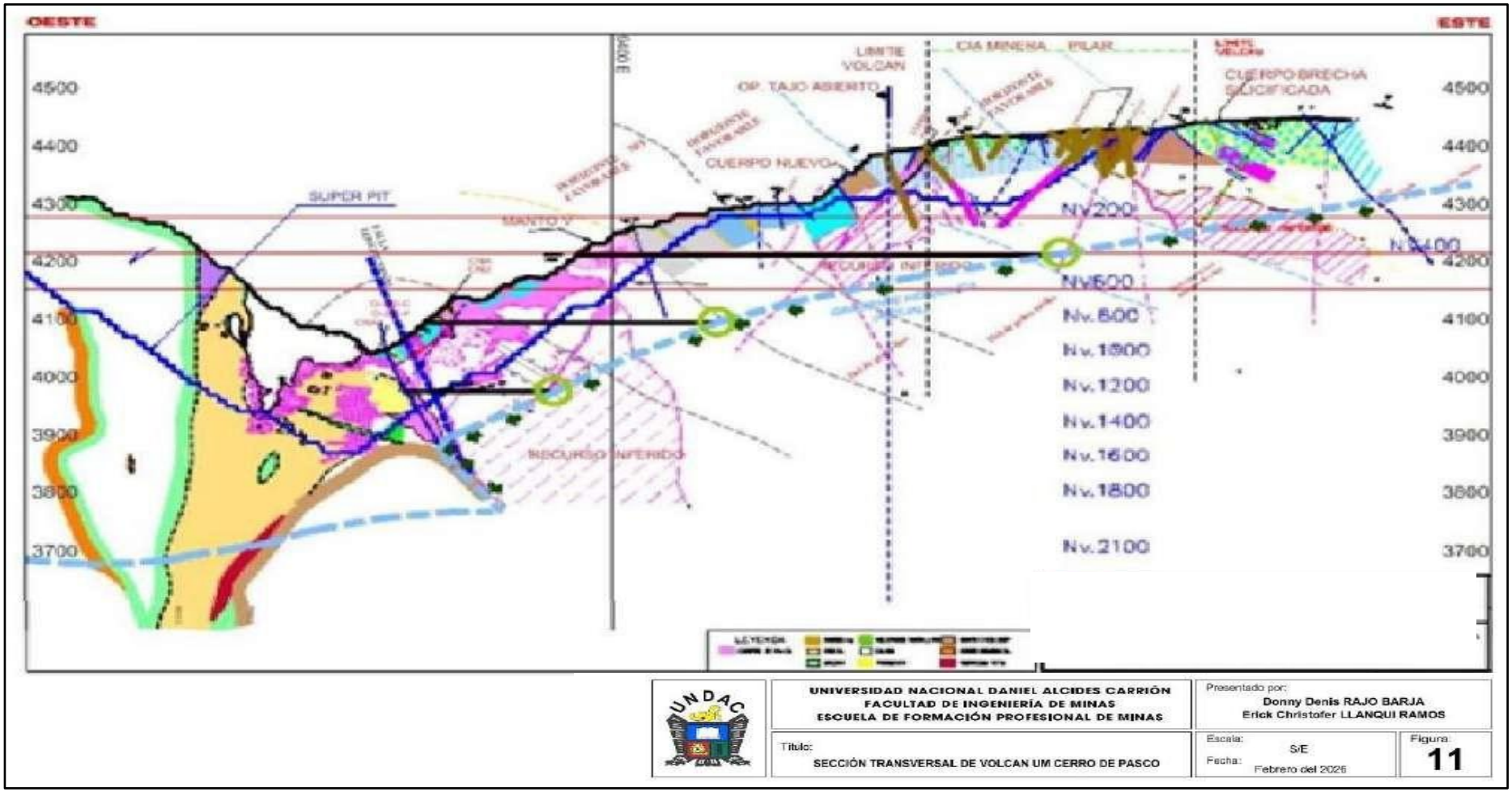
a. Sistemas de Fallas Críticos

El control de la mena está supeditado a tres sistemas de fallas principales que intersectan la zona de explotación:

- **Sistema N-S (Longitudinal):** Fallas regionales que actúan como el límite entre el dominio sedimentario y el volcánico. Estas fallas son los conductos principales de alimentación del sistema hidrotermal (Rodriguez et al., 2011).
- **Sistema N 120° E (Transversal):** Fallas que buzan hacia el sur y que han controlado el emplazamiento de cuerpos transversales de alta ley en la zona este del tajo (Rodriguez Mejía et al., 2011).
- **Sistema N 35° E:** Fallas de rumbo con componente cinemática dextral que han generado aperturas locales para el desarrollo de brechas mineralizadas y vetas de cuarzo-oro-plata (Rodriguez Mejía et al., 2011).

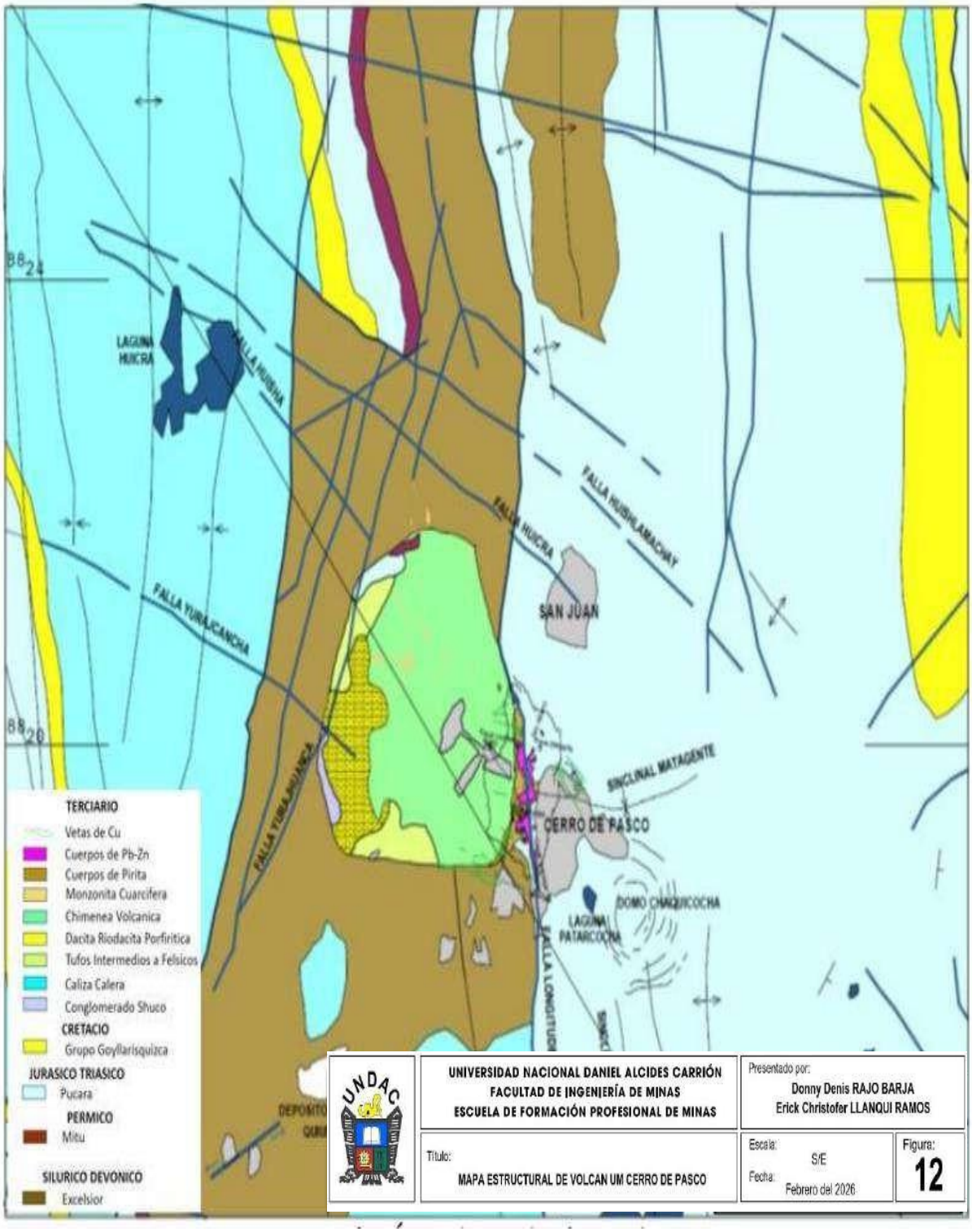
Durante el 2024, el equipo de geología de Volcan identificó áreas de alto potencial en la pared noreste del Tajo Raúl Rojas (Sector Chasqui Sulfuros), donde la intersección de fallas secundarias ha generado zonas de enriquecimiento secundario de zinc y plata que no habían sido detectadas previamente, lo que abre nuevas perspectivas para el minado de tajo abierto selectivo o minería subterránea dirigida (Rodriguez Mejía et al., 2011).

Figura 10. *Sección Transversal de Volcan UM Cerro de Pasco*



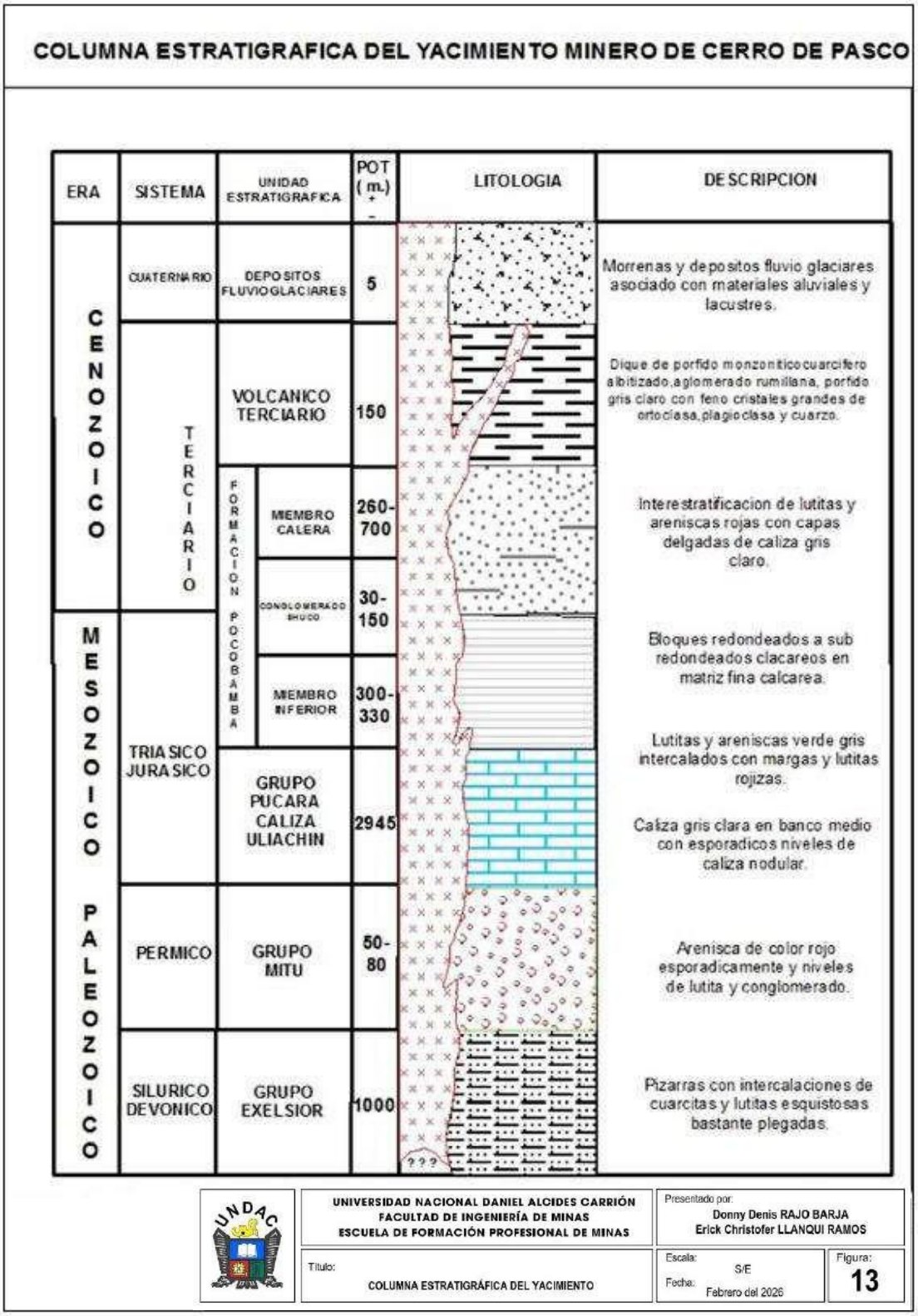
Nota. El plano de la Figura 11 ha sido obtenido de (Marcelo, 2024, p. 33)

Figura 11. *Mapa Estructural de Volcan UM Cerro de Pasco*



Nota. El Plano de la Figura 12 ha sido obtenido de (Marcelo, 2024, p. 32).

Figura 12. *Columna Estratigráfica del Yacimiento*



Nota. La Figura 13 ha sido extraído de (Zarate, 2023).

Métodos de Explotación Minera

La Unidad Cerro de Pasco emplea una combinación de métodos de explotación diseñados para maximizar la recuperación de mineral en un entorno geomecánicamente desafiante. Dada la irregularidad de los cuerpos de sulfuros y la proximidad a la zona urbana, la precisión en el minado es fundamental.

a) Minería Subterránea: Corte y Relleno

El método de **Corte y Relleno (Cut and Fill)** es el estándar operativo para la extracción de mantos y vetas potentes en la mina subterránea. Este método consiste en la extracción de tajadas horizontales de mineral, seguida del relleno inmediato del espacio vacío con material estéril, relave hidráulico o relleno cementado (Cabos, 2005).

- **Corte y Relleno Ascendente:** Se utiliza en zonas donde la roca encajonante presenta una competencia aceptable. El ciclo operativo incluye perforación con jumbos, voladura controlada, limpieza con scooptrams y relleno hidráulico para servir como piso para la siguiente tajada (Cabos, 2005).
- **Corte y Relleno Descendente (Método Michi):** Este método es una innovación crítica para zonas de roca extremadamente fracturada o de mala calidad (RMR bajo). Se inicia la explotación desde el nivel superior hacia abajo. Tras extraer una tajada, se coloca una losa de relleno cementado de alta resistencia que actúa como un "techo artificial" seguro para el minado del nivel inferior. El uso de perforadoras jumbo de dos brazos y sistemas de sostenimiento con pernos y shotcrete asegura la integridad de las labores bajo el relleno cementado (Cabos, 2005).

b) Implementación del Método SARC (Stoping with Advanced Remote Control)

Volcan ha iniciado la transición hacia métodos de minado masivo más productivos, como el SARC. Este método utiliza taladros largos en sentido transversal al cuerpo mineralizado, permitiendo una recuperación de hasta el 95% del mineral con una dilución mínima (5%). La mecanización intensiva de este método reduce la cantidad de personal expuesto en el frente de trabajo, mejorando drásticamente los índices de seguridad y la eficiencia por tonelada tratada (Cabos, 2005).

Tabla 7. *Comparativa de Métodos de Minado en Cerro de Pasco*

Método	Aplicación Geológica	Productividad (TM/tarea)	Ventajas Principales
Corte y Relleno Ascendente	Cuerpos regulares, roca media	18 TM/tarea	Alta selectividad y bajo costo relativo.
Método Michi (Descendente)	Roca de mala calidad (IV-V)	Moderada	Seguridad máxima bajo techos de concreto.
SARC (Taladros Largos)	Cuerpos masivos, alta potencia	Alta	Explotación masiva, mecanización y seguridad remota.

Nota. Los datos de la Tabla 7 han sido obtenidos de (Cabos, 2005).

Actividad y Capacidad de Procesamiento

La actividad en Cerro de Pasco se centra hoy en un modelo de procesamiento mixto. Mientras que la extracción activa en el tajo abierto está en pausa desde 2012, las plantas concentradoras se alimentan de tres fuentes principales: mineral proveniente de la mina subterránea, stockpiles de mineral marginal acumulados durante décadas y el reaprovechamiento de relaves antiguos mediante tecnologías de flotación optimizadas (Soyer & Fernando, 2023).

a) Plantas de Beneficio y Capacidades

La infraestructura de procesamiento de la unidad es una de las más grandes y versátiles del centro del país, permitiendo el tratamiento de minerales complejos con impurezas de bismuto y arsénico que otras plantas no pueden manejar eficientemente (Soyer & Fernando, 2023).

Tabla 8. *Capacidad de Tratamiento e Infraestructura de Plantas (2024)*

Planta Concentradora	Capacidad (TM/día)	Productos y Procesos
Paragsha - San Expedito	10,000 - 17,500	Concentrados de Zinc (Zn) y Plomo (Pb) con contenidos de plata. Proceso de flotación selectiva.
Planta de Óxidos	2500	Barras doré de Oro (Au) y Plata (Ag). Proceso de lixiviación dinámica en tanques.
Total Combinado	20,000+	Una de las mayores capacidades de tratamiento polimetálico en Perú.

La Planta de Óxidos, en particular, ha sido un motor de rentabilidad para la unidad. Al procesar materiales que antes eran considerados desechos (óxidos de baja ley), Volcan ha logrado extender la vida económica de la unidad mientras limpia áreas de pasivos ambientales históricos, demostrando que la remediación ambiental puede ser económicamente viable (Soyer & Fernando, 2023).

b) Volumen de Producción de Metales

Durante el periodo 2023-2024, la producción de la Unidad Cerro de Pasco ha mantenido una contribución robusta al consolidado de Volcan, a pesar de las fluctuaciones en la operatividad de algunas minas subterráneas. La empresa ha enfocado sus esfuerzos en incrementar la producción de finos mediante la optimización de las recuperaciones metalúrgicas en planta (Soyer & Fernando, 2023).

Tabla 9. *Producción de Metales Finos (Consolidado Volcan 2022 - 2024)*

Metal Finos	Unidad	2022	2023	2024	Variación % (24/23)
Zinc (Zn)	Miles TMF	225	221	242	+9.5%
Plomo (Pb)	Miles TMF	55	56	61	+8.9%
Plata (Ag)	Millones Oz	14.3	15	15.2	+1.3%
Cobre (Cu)	Miles TMF	4.4	5.2	4.9	-5.7%
Oro (Au)	Miles Oz	20.8	24.3	20.8	-14.4%

Nota. Los datos de la Tabla 9 son de la Unidad Minera de Cerro de Pasco (reporte de Sostenibilidad 2024)

La producción de plata es el componente de mayor valor estratégico para la Unidad Cerro de Pasco, especialmente a través de la Planta de Óxidos que entrega barras doré listas para refinación final. En 2024, la mayor cotización de la plata (promedio de $28.2/oz frente a $23.4/oz en 2023) compensó con creces las caídas marginales en la producción de oro y cobre (Soyer & Fernando, 2023).

c) Volumen de Ventas y Desempeño Financiero

El 2024 fue un año de recuperación financiera significativa para Volcan. Los ingresos consolidados ascendieron a US$ 960.5 millones, un incremento del 8.8% respecto a los US$ 883.1 millones registrados en 2023. Este resultado es consecuencia directa de la estrategia de "maximización de valor" implementada por la nueva gerencia, que aprovechó los picos en el precio de la plata y el zinc durante el segundo semestre del año (Soyer & Fernando, 2023).

d) Análisis de Rentabilidad y Costos

La eficiencia operativa se vio reflejada en el EBITDA consolidado, que alcanzó los US$ 382 millones en 2024, superando en un 38% la cifra del 2023. Esta mejora se atribuye no solo a los precios de los metales, sino al programa "Volcan Avanza", que logró ahorros de costos por más de US$ 27 millones mediante la renegociación de contratos de energía y la optimización del consumo de reactivos en las plantas concentradoras de Cerro de Pasco (Soyer & Fernando, 2023).

Tabla 10. *Indicadores Financieros Clave (2023 - 2024)*

Indicador	2023 (US$ MM)	2024 (US$ MM)	Comentario Estratégico
Ventas Netas	883.1	960.5	Impulsadas por el rally de la Plata (+20.5%).
EBITDA	276.9	382	Incremento de 38% por eficiencia operativa.
Utilidad Neta	-10	114.7	Retorno a terreno positivo tras ajustes excepcionales.
Deuda Neta / EBITDA	2.7x	1.6x	Mejora sustancial en la solvencia financiera.

Nota. Los datos de la Tabla 10 han sido obtenidos de (Cotrina, 2024).

La reducción del apalancamiento financiero fue un hito clave. En julio de 2024, Volcan logró la modificación integral de su contrato de préstamo sindicado por US$ 400 millones, extendiendo plazos y mejorando condiciones, lo que permitió que calificadoras como Fitch Ratings realizaran un "upgrade" en la nota de la empresa en agosto de 2024 (Cotrina, 2024).

Personal y Capital Humano

La Unidad Cerro de Pasco es uno de los mayores empleadores de la región centro del Perú. La gestión del personal se orienta hacia la profesionalización y la seguridad bajo el marco de sostenibilidad "CleanWork" (Soyer & Fernando, 2023).

a) Estructura de la Fuerza Laboral (2024)

- **Personal de Planilla Directa:** 436 trabajadores altamente calificados, encargados de la dirección técnica, planificación minera y supervisión de plantas (Soyer & Fernando, 2023).
- **Personal de Empresas Especializadas (Contratistas):** 1,114 trabajadores que ejecutan las labores operativas directas en mina y mantenimiento de infraestructura (Soyer & Fernando, 2023).
- **Total de Trabajadores en la Unidad:** 1,550 personas.

Volcan mantiene una política estricta de empleo local. En Cerro de Pasco, aproximadamente el 45% del personal de planilla proviene de la región Pasco, fortaleciendo el tejido social de la ciudad minera. En términos de seguridad, la compañía ha implementado los "Nueve Comportamientos que Salvan Vidas", logrando mantener periodos prolongados sin accidentes fatales en la unidad de Cerro de Pasco, a pesar de la complejidad intrínseca de sus labores subterráneas (Soyer & Fernando, 2023).

Gestión Ambiental y Sostenibilidad

La operación en Cerro de Pasco se desarrolla en un entorno de alta sensibilidad social y ambiental debido a su ubicación urbana. Volcan ha adoptado un compromiso con la remediación de pasivos históricos y la gestión eficiente de residuos.

a) Principales Logros Ambientales (2023-2024)

1. **Cierre y Remediación de Pasivos:** Se han rehabilitado más de 140,000 m² de superficie en el Delta Upamayo y 4,000 m² en la Laguna Yanamate, restaurando ecosistemas locales afectados por actividad minera de décadas pasadas (Soyer & Fernando, 2023).
2. **Gestión de Residuos:** Eliminación de 5.1 millones de toneladas de antiguos stockpiles en Cerro de Pasco, integrándolos al proceso productivo de la Planta de Óxidos (Soyer & Fernando, 2023).
3. **Economía Circular de Agua:** Incremento del reúso de agua operativa en un 5%, alcanzando niveles de eficiencia hídrica superiores al promedio de la industria nacional (Soyer & Fernando, 2023).

En el ámbito social, la inversión en proyectos de desarrollo sostenible para las comunidades de Pasco alcanzó los US$ 1.2 millones en 2024, enfocados en mejorar la infraestructura de salud primaria y fortalecer las capacidades educativas

de los jóvenes locales mediante alianzas con organizaciones como Enseña Perú (Soyer & Fernando, 2023).

b) Reservas, Recursos y Futuro de la Unidad

La viabilidad futura de la Unidad Cerro de Pasco está garantizada por un inventario de minerales excepcional que continúa expandiéndose mediante exploraciones profundas. Al cierre del 2024, la compañía reportó reservas probadas y probables que aseguran varios años más de operación, pero el verdadero potencial reside en sus recursos medidos e indicados (Soyer & Fernando, 2023).

Tabla 11. *Inventario de Minerales (Estimado 2024)*

Categoría	Tonelaje (Miles TMS)	Ley Zn (%)	Ley Pb (%)	Ley Ag (Oz/TM)
Reservas Probadas/Probables	27,700	4.6	1	2.7
Recursos Medidos e Indicados	446,700	2.3	0.7	1.2

Nota. Los datos de la Tabla 11 han sido obtenidos de (Soyer & Fernando, 2023).

La estrategia para los próximos cinco años se centra en el crecimiento orgánico a través de proyectos como **Romina** (que entrará en producción en 2026 con altos grados de zinc y plata) y la reactivación selectiva de zonas en el tajo abierto mediante perforaciones de control de alta definición (Soyer & Fernando, 2023).

La Unidad Cerro de Pasco de Volcan Compañía Minera S.A.A. representa un paradigma de la minería moderna: la capacidad de transformar un yacimiento centenario en una operación rentable, segura y ambientalmente responsable. La convergencia de una geología privilegiada, controles estructurales bien definidos y la implementación de métodos de minado de vanguardia como el SARC y el Método Michi, permiten que esta unidad continúe siendo un pilar fundamental de la minería peruana.

Con un EBITDA al alza, un balance financiero saneado tras el cambio de control a Transition Metals AG y una base de reservas que garantiza la continuidad operativa, Cerro de Pasco se proyecta hacia el 2030 como un centro de producción polimetálica estratégico. La integración de la sostenibilidad ambiental con la recuperación de metales valiosos de pasivos históricos posiciona a Volcan no solo como una empresa extractiva, sino como un actor clave en la remediación y el desarrollo socioeconómico de la sierra central del Perú.

2.3. Definición de términos básicos

Los términos más importantes de la tesis son los siguientes:

a) Sistema de Gestión de la Fatiga (SGF)

Marco estructurado de políticas, procedimientos y controles orientados a identificar, evaluar y mitigar los riesgos asociados a la fatiga laboral en trabajadores.

b) Fatiga Laboral

Estado fisiológico y psicológico caracterizado por disminución del rendimiento físico y cognitivo, producto de la carga de trabajo, los turnos prolongados y la falta de descanso.

c) Somnolencia Operativa

Condición de reducción del estado de alerta en operadores de equipos, asociada a la fatiga, que incrementa la probabilidad de errores humanos e incidentes.

d) Incidentes en Minería Subterránea

Eventos no deseados que ocurren durante las operaciones mineras subterráneas y que tienen el potencial de causar daños a personas, equipos o procesos.

e) Operadores de Equipos Pesados

Trabajadores responsables de la conducción y operación de maquinaria minera, expuestos a elevados niveles de carga física, mental y riesgo operacional.

f) Construcción de Rampas Mineras

Actividad crítica en minería subterránea que involucra el desarrollo de accesos inclinados, con alta demanda operativa y condiciones de riesgo.

g) Error Humano en Minería

Desviación no intencional del desempeño esperado del operador, influenciada por factores como fatiga, estrés, monotonía y condiciones ambientales.

h) Gestión del Riesgo Operacional

Proceso sistemático para identificar, evaluar y controlar los riesgos asociados a las operaciones mineras, incluyendo aquellos derivados de factores humanos.

i) Seguridad y Salud Ocupacional en Minería

Conjunto de principios, normas y prácticas destinadas a proteger la integridad física y mental de los trabajadores del sector minero.

j) Turnos de Trabajo y Rotación Laboral

Organización temporal de la jornada laboral que influye directamente en los niveles de fatiga, recuperación fisiológica y desempeño del operador.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga influye significativamente en la prevención de incidentes y accidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan S.A. Unidad Cerro de Pasco.

2.4.2. Hipótesis específicas

a) La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga reduce el número

de incidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco.

b) La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga reduce el número de accidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco.

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 = Incidentes en operadores de equipos.

Y_1= Número de incidentes. Y_2= Número de accidentes.

2.5.2. Variables Independientes

Las variables independientes son:

X = Sistema de Gestión de la Fatiga.

X_1 = Cumplimiento (%).

X_2 = Nivel de fatiga.

X_3 = Nivel de sueño.

X_4 = Probabilidad de identificar el riesgo (0-100%)

X_5 = Diseño e implementación del sistema (0-100%)

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

La definición conceptual y operacional de variables se encuentra en la Tabla 12.

2.6.1. Indicadores de la Hipótesis General

Los indicadores de la hipótesis general se detallan a continuación:

- Variables Independientes

X = Sistema de Gestión de la Fatiga.

- Variables Dependientes

Y = Incidentes en operadores de equipos.

2.6.2. Dimensiones e Indicadores de las Hipótesis Secundarias

Son los siguientes:

- Variables Independientes

X = Sistema de Gestión de la Fatiga.

Dimensiones:

X_1 = Programa de monitoreo.

X_2 = Fatiga.

X_3 = Somnolencia.

X_4 = Identificación del riesgo de fatiga.

X_5 = Sistema de control de fatiga usando tecnología.

Indicadores:

X11 = Cumplimiento (%).

X21 = Nivel de fatiga.

X31 = Nivel de sueño.

X41 = Probabilidad de identificar el riesgo (0-100%)

X51 = Diseño e implementación del sistema (0-100%)

- Variables Dependientes

Y = Incidentes en operadores de equipos. DIMENSIONES:

Y1 = Incidentes.

Y2 = Accidentes. INDICADORES:

Y11= Número de incidentes.

Y21= Número de accidentes.

Ver la Tabla 12 donde se muestran las variables e indicadores del estudio.

Tabla 12. *Tabla de Operacionalización de Variables e Indicadores*

Tipo de Variable	Nombre de la Variable	Definición Conceptual y Operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente (X)	Sistema de Gestión de la Fatiga	La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga (SGF) se entiende como el proceso sistemático, planificado y continuo mediante el cual la Empresa Minera Volcan - Unidad Cerro de Pasco adopta un conjunto de políticas, procedimientos, herramientas de control, capacitación y monitoreo, orientadas a prevenir, reducir y controlar la fatiga laboral y la somnolencia en los operadores de equipos mineros. Operacionalmente, esta variable implica medir el nivel de cumplimiento, aplicación y efectividad de los componentes que integran el sistema, los cuales están alineados con la Ley N.º 29783, el D.S. N.º 024-2016-EM (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería), la ISO 45001:2018 (Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo) y la ISO 31000:2018 (Gestión del Riesgo).	Programa de monitoreo	Cumplimiento (%)
			Fatiga	Nivel de fatiga
			Somnolencia	Nivel de sueño
			Identificación del riesgo de fatiga	Probabilidad, (0-100%)
			Sistema de control de fatiga usando tecnología	Diseño e implementación del sistema, (0-100%)
Variable dependiente (Y)	Incidentes en operadores de equipos	Los incidentes en operadores de equipos son eventos no deseados que ocurren durante la operación de maquinaria minera y que, sin causar necesariamente lesiones graves, tienen el potencial de generar daños a las personas, a los equipos o a la operación, estando frecuentemente asociados a factores humanos como la fatiga y el error operativo. Operacionalmente esta variable se medirá mediante el registro de la frecuencia, tipo y severidad de los incidentes, considerando el turno de trabajo y la condición del operador, a partir de reportes de seguridad y registros operativos, antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga.	Incidentes	Número de incidentes
			Accidentes	Número de accidentes

Nota. La tabla muestra el tipo de variable, el nombre, la definición operacional, las dimensiones y los indicadores.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La presente tesis titulada “Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga para Prevenir Incidentes en Operadores de Equipos en Minería Subterránea, 2023–2024” corresponde a una investigación **aplicada**.

La investigación aplicada se caracteriza por utilizar el conocimiento científico existente con el propósito de resolver problemas prácticos y concretos, orientados a mejorar procesos, condiciones o resultados en un contexto real. En este tipo de investigación, el interés principal no es la generación de nuevas teorías, sino la aplicación del conocimiento para la solución de problemas específicos que afectan a una organización o sistema productivo.

Al respecto, Hernández et al. (2014) señalan que la investigación aplicada busca resolver problemas prácticos mediante la aplicación de conocimientos teóricos, contribuyendo directamente a la mejora de situaciones reales. En ese mismo sentido, Tamayo (2007) indica que este tipo de investigación se orienta a la utilización de los resultados científicos en la toma de decisiones y en la mejora de procesos operativos.

En concordancia con lo señalado, la presente investigación es aplicada porque se enfoca en la implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga como herramienta preventiva para reducir incidentes en operadores de equipos, abordando un problema real identificado durante la rehabilitación de la Rampa Esperanza. Los resultados permitirán mejorar la seguridad operativa, reducir riesgos asociados al factor humano y optimizar la gestión de la seguridad y salud ocupacional en la unidad minera.

3.2. Nivel de investigación

La tesis titulada "Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga para Prevenir Incidentes en Operadores de Equipos en Minería Subterránea, 2023–2024" corresponde a un nivel de investigación **explicativo**.

La investigación explicativa tiene como finalidad identificar y explicar las causas o factores que generan un determinado fenómeno, estableciendo relaciones de tipo causal entre las variables de estudio. Este nivel de investigación no solo describe la realidad, sino que busca explicar por qué ocurre un fenómeno y bajo qué condiciones se presenta, permitiendo evaluar el efecto de una variable sobre otra.

Al respecto, Hernández et al. (2014) señalan que la investigación explicativa está orientada a determinar las relaciones de causa–efecto entre variables, permitiendo comprobar hipótesis y explicar los cambios observados en un fenómeno. De igual manera, Tamayo (2007) indica que este nivel de investigación busca explicar el comportamiento de las variables a partir de la identificación de sus causas y consecuencias.

En concordancia con lo señalado, el presente estudio es de nivel explicativo porque analiza cómo la implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga influye en la reducción de incidentes en operadores de equipos, durante la rehabilitación de la Rampa Esperanza. A través de la comparación de resultados antes y después de la

implementación del sistema, se pretende explicar la relación causal entre la gestión de la fatiga y la prevención de incidentes en un entorno de alto riesgo operativo.

3.3. Métodos de investigación

La tesis titulada “Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga para Prevenir Incidentes en Operadores de Equipos en Minería Subterránea, 2023–2024” emplea los siguientes métodos de investigación, los cuales permiten analizar de manera sistemática el problema de estudio y sustentar los resultados obtenidos.

3.3.1. Método Científico

El método científico consiste en un proceso ordenado y sistemático que permite obtener conocimiento válido mediante la observación, formulación de hipótesis, recolección de datos, análisis e interpretación de resultados. Este método busca explicar fenómenos reales de forma objetiva y verificable.

Según Hernández et al. (2014), el método científico permite abordar problemas de investigación mediante procedimientos lógicos y estructurados que garantizan la confiabilidad de los resultados. Asimismo, Tamayo (2007) señala que este método se basa en la aplicación de técnicas que conducen a conclusiones fundamentadas en evidencia empírica.

En la presente investigación, el método científico se aplica para analizar la relación entre la gestión de la fatiga y la ocurrencia de incidentes en operadores de equipos, permitiendo evaluar los efectos de la implementación del sistema propuesto.

3.3.2. Método Inductivo

El método inductivo parte de la observación de hechos particulares para llegar a conclusiones de carácter general. A través de este método, se analizan situaciones específicas con el fin de establecer patrones o comportamientos comunes.

De acuerdo con Bernal (2016), el método inductivo permite generalizar resultados a partir del análisis de cas(os concretos observados en la realidad. Del mismo modo, Tamayo (2007) indica que este método es útil cuando se estudian fenómenos operativos y conductuales en contextos reales de trabajo.

En esta tesis, el método inductivo se utiliza al analizar los incidentes registrados y las condiciones de fatiga observadas en los operadores de equipos, para establecer conclusiones generales sobre la influencia de la fatiga en la seguridad operativa.

3.3.3. Método Deductivo

El método deductivo consiste en partir de principios, teorías o normas generales para explicar o analizar situaciones particulares. Este método permite contrastar la teoría con la realidad observada.

Hernández et al. (2014) señalan que el método deductivo se emplea cuando se aplican conceptos teóricos previamente establecidos para analizar fenómenos específicos. Asimismo, Bernal (2016) indica que este método facilita la comprobación de hipótesis a partir de marcos conceptuales existentes.

En la investigación, el método deductivo se aplica al utilizar teorías sobre fatiga laboral, error humano y gestión del riesgo para analizar los incidentes ocurridos durante la rehabilitación de la rampa minera.

3.3.4. Método Analítico

El método analítico consiste en descomponer el objeto de estudio en sus partes o elementos para comprender su estructura y funcionamiento. Este método permite examinar cada componente de manera detallada.

Según Tamayo (2007), el método analítico facilita el estudio profundo de los factores que intervienen en un fenómeno. Hernández et al. (2014) indican que este método es fundamental para identificar relaciones entre variables.

En la presente tesis, el método analítico se emplea para analizar los componentes del Sistema de Gestión de la Fatiga y los distintos tipos de incidentes, evaluando su comportamiento antes y después de la implementación del sistema.

3.3.5. Método Comparativo

El método comparativo permite identificar similitudes y diferencias entre dos o más situaciones, períodos o grupos de estudio. Es ampliamente utilizado en investigaciones aplicadas con diseño antes–después.

Bernal (2016) señala que este método facilita la evaluación de cambios producidos como resultado de la aplicación de una intervención. De igual forma, Hernández et al. (2014) indican que el método comparativo permite medir el impacto de una variable independiente sobre una dependiente.

En esta investigación, el método comparativo se utiliza para contrastar los niveles de incidentes registrados antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación describe la estructura metodológica general que orienta el desarrollo del estudio, determinando el tipo, alcance y procedimiento que se seguirá para recolectar, analizar e interpretar la información necesaria a fin de dar respuesta al problema planteado y comprobar las hipótesis formuladas. Para la presente tesis, el diseño adoptado es no experimental, de tipo transversal y de nivel descriptivo–correlacional.

El diseño no experimental, transversal y correlacional permitirá evaluar la relación entre la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga y la prevención de incidentes laborales en los operadores de equipos de la Compañía Minera Volcan – Unidad Cerro de Pasco.

Este enfoque metodológico garantiza la validez científica, la objetividad del análisis y la aplicabilidad práctica de los resultados dentro del marco de la seguridad minera peruana.

a) Diseño No Experimental

El estudio es no experimental porque no se manipulan deliberadamente las variables; es decir, el investigador no altera ni controla las condiciones de trabajo, sino que observa los fenómenos tal como se presentan en su contexto real dentro de la operación minera.

La variable independiente (Implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga) y la variable dependiente (Prevención de incidentes en operadores de equipos) se analizan sin intervención directa, limitándose a medir y describir su relación a partir de los datos obtenidos. De acuerdo con Hernández et al. (2014), el diseño no experimental "consiste en observar fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, para analizarlos posteriormente".

b) Diseño Transversal o Transeccional

El diseño es transversal porque la recolección de datos se realizará en un solo momento del tiempo, correspondiente al año 2024, con el propósito de describir y analizar la relación entre la implementación del sistema de gestión de la fatiga y la reducción de incidentes laborales durante ese periodo. No se consideran mediciones en distintas etapas temporales (antes y después de varios años), sino un análisis instantáneo del fenómeno dentro del contexto operativo actual.

c) Diseño Descriptivo–Correlacional

El diseño es además descriptivo–correlacional, porque busca describir las características y condiciones existentes en la rehabilitación de la rampa esperanza en

la empresa minera respecto a la gestión de la fatiga y, al mismo tiempo, determinar el grado de relación entre ambas variables:

- Variable independiente: *Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga.*
- Variable dependiente: *Prevención de incidentes en operadores de equipos.*

El objetivo central es establecer si existe una correlación significativa entre la correcta implementación del sistema de gestión y la disminución de incidentes laborales.

El nivel correlacional permitirá identificar tendencias y asociaciones estadísticas entre los indicadores de fatiga (jornadas prolongadas, turnos rotativos, pausas, capacitaciones) y los indicadores de incidentabilidad (tasa de frecuencia, severidad y cumplimiento preventivo).

d) Justificación del diseño adoptado

El diseño no experimental, descriptivo–correlacional, es el más adecuado para este estudio porque:

- Permite **analizar un fenómeno en su entorno real de trabajo**, sin alterar las condiciones mineras operativas.
- Facilita **evaluar la relación entre dos variables medibles** sin requerir un grupo experimental y otro de control.
- Proporciona una **visión objetiva y cuantificable** sobre la efectividad del sistema de gestión de la fatiga en la prevención de incidentes.

Además, se ajusta a la naturaleza **aplicada y de campo** de la investigación, ya que se desarrollará **directamente en el ambiente operativo** de la Unidad Minera Cerro de Pasco, donde se recogerán los datos mediante **observación y registros institucionales**.

e) Esquema del diseño

El diseño puede representarse de la siguiente manera:

$$\mathbf{M} \rightarrow O_1 \longleftrightarrow O_2$$

Donde:

M: Muestra representativa de operadores de equipos pesados.

O₁: Observación de la variable independiente (*Implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga*).

O₂: Observación de la variable dependiente (*Prevención de incidentes laborales*).

↔: Representa la relación o correlación existente entre ambas variables.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población está constituida por el conjunto total de personas que poseen características comunes relevantes para el estudio. En el caso de la presente investigación, la población está conformada por los trabajadores operativos de la Compañía Minera Volcan S.A.A., Unidad Cerro de Pasco, que desempeñan diferentes funciones en la rehabilitación de la Rampa Esperanza. Estos trabajadores cumplen turnos rotativos, realizan labores de alto riesgo y están expuestos a factores de fatiga física, mental y ambiental, tales como el trabajo en altura, el ruido, la vibración y las largas jornadas laborales. De acuerdo con la información proporcionada por el área de Recursos Humanos y Seguridad Ocupacional, la población total estimada está compuesta por: operadores de scoop, operadores de camiones mineros, operadores de jumbo de perforación, operadores de equipos auxiliares (tractores y cargadores) y los operadores de sostenimiento usando el concreto lanzado. Por tanto, la población total (N) para este estudio está conformada por 60 trabajadores.

3.5.2. Muestra

La muestra representa los operadores de equipos pesados y livianos siendo en total 33 trabajadores que trabajan en la rehabilitación de la Rampa Esperanza, por lo tanto, n= 32 operadores de equipos.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el desarrollo de la tesis se empleó algunas técnicas e instrumentos de recolección de datos, los cuales permitieron obtener información válida, confiable y pertinente para el análisis de las variables de estudio.

Según Hernández et al. (2014), las técnicas de recolección de datos constituyen los procedimientos utilizados para obtener información empírica, mientras que los instrumentos son los medios específicos que permiten registrar y medir dicha información de manera sistemática. Del mismo modo, Tamayo (2007) señala que la adecuada selección de técnicas e instrumentos garantiza la objetividad y precisión de los resultados de una investigación.

3.6.1. Técnica: Observación Directa

Instrumento: Lista de verificación (checklist)

La observación directa es una técnica que consiste en el registro sistemático de hechos, conductas o eventos tal como ocurren en la realidad, sin la intervención del investigador. Esta técnica permite obtener información objetiva sobre el comportamiento de los sujetos y las condiciones del entorno.

Hernández et al. (2006) indican que la observación es fundamental en investigaciones aplicadas, ya que permite identificar situaciones reales y verificar el cumplimiento de procedimientos. Asimismo, Bernal (2006) señala que la observación directa facilita el análisis de procesos operativos y conductas laborales en contextos industriales.

En la presente investigación, esta técnica se aplica para observar las condiciones de trabajo, el cumplimiento de pausas, los turnos y las conductas operativas de los operadores de equipos. El instrumento utilizado es una **lista de verificación**, diseñada para registrar indicadores relacionados con la fatiga laboral y la ocurrencia de incidentes.

3.6.2. Técnica: Análisis Documental

Instrumento: Ficha de registro documental

El análisis documental es una técnica que consiste en la revisión sistemática de documentos, registros y reportes existentes, con el propósito de extraer información relevante para la investigación.

Bernal (2016) señala que esta técnica permite analizar información histórica y administrativa que respalda los resultados empíricos. Hernández et al. (2014) indican que el análisis documental es esencial para complementar la información obtenida mediante otras técnicas.

En el presente estudio, el análisis documental se aplica a reportes de incidentes, registros de seguridad, partes operativos, informes de supervisión y estadísticas internas. El instrumento utilizado es una ficha de registro documental, que permite organizar y sistematizar la información relacionada con la ocurrencia de incidentes antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga.

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

La tesis titulada “Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga para Prevenir Incidentes en Operadores de Equipos en Minería Subterránea, 2023–2024” requiere el uso de instrumentos de investigación que garanticen la pertinencia, validez

y confiabilidad de la información recolectada, a fin de asegurar resultados científicos consistentes y verificables.

Según Hernández et al. (2014), la correcta selección y validación de los instrumentos es un aspecto fundamental del proceso metodológico, ya que de ello depende la calidad de los datos y la credibilidad de las conclusiones. En el mismo sentido, Tamayo (2007) señala que los instrumentos deben ser coherentes con las variables, dimensiones e indicadores definidos en la investigación.

3.7.1. Selección de los Instrumentos de Investigación

La selección de los instrumentos se realizó en función de las variables de estudio, el enfoque cuantitativo de la investigación y el contexto operativo minero. Para ello, se consideró la naturaleza de la información a recolectar, el nivel de medición requerido y la viabilidad de aplicación en campo.

Hernández et al. (2014) indican que los instrumentos deben seleccionarse de acuerdo con los objetivos de la investigación y el tipo de datos que se pretende obtener. Asimismo, Bernal (2016) sostiene que la elección adecuada de instrumentos permite medir las variables de manera objetiva y sistemática.

En la presente tesis se seleccionaron como instrumentos principales: listas de verificación, cuestionarios estructurados y fichas de registro documental, por ser adecuados para medir la gestión de la fatiga y la ocurrencia de incidentes en operadores de equipos.

3.7.2. Validación de los Instrumentos de Investigación

La validación de los instrumentos tiene como finalidad asegurar que estos miden efectivamente lo que pretenden medir.

De acuerdo con Tamayo (2007), la validación por expertos permite evaluar la claridad, coherencia, pertinencia y relevancia de los ítems incluidos en un instrumento. Hernández et al. (2006) señalan que este tipo de validación es especialmente útil en investigaciones aplicadas, donde los instrumentos son elaborados específicamente para el estudio.

En este trabajo, los expertos evaluaron los instrumentos considerando criterios como: redacción de los ítems, correspondencia con las dimensiones e indicadores, y adecuación al contexto de la rehabilitación de rampas en minería subterránea. Las observaciones realizadas fueron incorporadas antes de la aplicación definitiva de los instrumentos.

3.7.3. Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación

La confiabilidad se refiere al grado en que un instrumento produce resultados consistentes y estables cuando se aplica en condiciones similares. Un instrumento confiable reduce el error de medición y aumenta la precisión de los datos recolectados.

Hernández et al. (2014) señalan que la confiabilidad está relacionada con la estabilidad, consistencia interna y reproducibilidad de los resultados. Por su parte, Bernal (2016) indica que un instrumento confiable es aquel que ofrece resultados similares ante mediciones repetidas del mismo fenómeno.

En la presente investigación, la confiabilidad de los instrumentos se garantiza mediante la estandarización de los procedimientos de aplicación, la capacitación del personal encargado de la recolección de datos y la revisión previa de los instrumentos.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se empleó técnicas de procesamiento y análisis de datos orientadas a organizar, sistematizar e interpretar la información recolectada, con la finalidad de contrastar los

objetivos de investigación y evaluar el efecto de la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga.

Según Hernández et al. (2014), el procesamiento de datos comprende el conjunto de procedimientos destinados a preparar la información para su análisis, mientras que el análisis de datos implica la aplicación de técnicas estadísticas que permiten interpretar los resultados obtenidos. De igual manera, Tamayo (2007) señala que estas técnicas deben ser coherentes con el enfoque metodológico y el nivel de investigación.

3.8.1. Procesamiento de Datos

El procesamiento de datos consiste en la organización, depuración, codificación y tabulación de la información recolectada a través de los instrumentos de investigación. Este proceso permite transformar los datos brutos en información ordenada y apta para su análisis estadístico.

Hernández et al. (2014) indican que el procesamiento de datos incluye la codificación de respuestas, la verificación de consistencia y la elaboración de bases de datos. Asimismo, Bernal (2016) señala que este procedimiento es fundamental para reducir errores y asegurar la confiabilidad de la información.

En la presente investigación, los datos obtenidos mediante listas de verificación y fichas documentales serán codificados y tabulados utilizando hojas de cálculo y software estadístico, permitiendo su clasificación según variables, dimensiones e indicadores definidos.

3.8.2. Análisis Estadístico Descriptivo

El análisis estadístico descriptivo tiene como finalidad resumir y presentar los datos de manera clara y comprensible, a través de tablas, gráficos y medidas

estadísticas. Este tipo de análisis permite describir el comportamiento de las variables de estudio.

Según Tamayo (2007), la estadística descriptiva facilita la interpretación inicial de los datos mediante medidas de frecuencia y tendencia. Hernández et al. (2014) sostienen que este análisis es esencial para identificar patrones, distribuciones y características principales de la información recolectada.

En esta tesis, el análisis descriptivo se aplicó mediante:

- Tablas de frecuencia
- Porcentajes
- Gráficos estadísticos
- Promedios y tasas de incidentes

3.8.3. Análisis Estadístico Comparativo

El análisis comparativo permite contrastar los resultados obtenidos en dos momentos distintos, con el propósito de identificar cambios o variaciones producidas por la aplicación de una intervención.

Bernal (2016) señala que este tipo de análisis es adecuado en investigaciones aplicadas con diseño antes–después, ya que permite evaluar el impacto de la variable independiente sobre la variable dependiente. Hernández et al. (2014) indican que el análisis comparativo contribuye a la verificación de hipótesis y a la explicación de relaciones causales.

En la presente investigación, el análisis comparativo se empleará para comparar los niveles de incidentes y condiciones de fatiga registrados antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga, permitiendo evaluar su efectividad en la prevención de incidentes.

3.8.4. Interpretación de Resultados

La interpretación de resultados consiste en el análisis crítico de los datos obtenidos, relacionándolos con los objetivos, hipótesis y bases teóricas de la investigación.

Según Tamayo (2007), la interpretación permite otorgar significado a los resultados, vinculándolos con el problema de investigación. Hernández et al. (2014) señalan que esta etapa es fundamental para formular conclusiones y recomendaciones sustentadas en evidencia empírica.

En esta tesis, los resultados serán interpretados considerando el contexto operativo de la minería subterránea y la rehabilitación de rampas, permitiendo establecer conclusiones sobre la influencia del Sistema de Gestión de la Fatiga en la reducción de incidentes en operadores de equipos.

3.9. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico comprende el conjunto de procedimientos cuantitativos aplicados para organizar, procesar, analizar e interpretar los datos obtenidos mediante los instrumentos de recolección (registros de incidentes y observaciones de campo). Su propósito es verificar la hipótesis general y las hipótesis específicas del estudio, así como describir la relación entre las variables principales:

- Variable independiente: Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga.
- Variable dependiente: Prevención de incidentes en operadores de equipos.

El tratamiento estadístico permitirá comprobar la hipótesis del estudio, demostrando si existe una correlación significativa entre la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga y la prevención de incidentes laborales en los operadores de equipos de minería subterranea de la rampa de la Compañía Minera Volcan – Unidad

Cerro de Pasco. Asimismo, garantizará la validez científica, confiabilidad y objetividad de los resultados, brindando sustento técnico a las conclusiones de la investigación.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación se sustenta en una orientación ética que prioriza el respeto a la dignidad y bienestar de los trabajadores, asegurando la confidencialidad de la información y la participación voluntaria con consentimiento informado, reconociendo a los operadores de equipos pesados no como simples sujetos de estudio, sino como actores centrales en la construcción de conocimiento aplicado. Desde una perspectiva filosófica se adscribe a un enfoque humanista, que valora la vida, la seguridad y la salud como bienes supremos que deben ser protegidos por encima de cualquier interés productivo. En el plano epistémico, se adopta una postura pragmática y crítica, que reconoce la complejidad de la fatiga laboral en el contexto minero y propone la integración de enfoques cualitativos y cuantitativos para alcanzar una comprensión más completa de la realidad, asegurando que el conocimiento generado no solo sea válido científicamente, sino también útil, aplicable y transformador para las organizaciones y trabajadores involucrados.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo de la tesis titulada “Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga para Prevenir Incidentes en Operadores de Equipos en Minería Subterránea, 2023–2024” se desarrolló directamente en el área operativa donde se ejecutan las actividades de rehabilitación de la rampa minera, con el propósito de recolectar información real y confiable sobre las condiciones de trabajo, la presencia de fatiga en los operadores y la ocurrencia de incidentes y accidentes durante la operación de equipos.

Según Hernández et al. (2014), el trabajo de campo consiste en la obtención directa de datos en el lugar donde ocurre el fenómeno de estudio, permitiendo al investigador observar y registrar los hechos en su contexto natural. De igual manera, Tamayo (2007) señala que el trabajo de campo es fundamental en investigaciones aplicadas, ya que posibilita la verificación empírica del problema investigado.

Figura 13. *Nivel 8080*



4.1.1. Desarrollo del trabajo de Campo

El trabajo de campo se ejecutó en dos períodos claramente definidas: un período de diagnóstico (antes de la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga) y un período de evaluación (después de la implementación), lo que permitió realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos.

En la etapa diagnóstica, se realizó la observación directa de las labores de los operadores de equipos durante los distintos turnos de trabajo, registrándose información relacionada con la duración de las jornadas, cumplimiento de pausas, condiciones ambientales y comportamientos operativos. Asimismo, se revisaron los registros documentales de incidentes y accidentes, con el fin de identificar la situación inicial respecto a la fatiga laboral y la frecuencia de eventos no deseados.

Posteriormente, se procedió a la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga, que incluyó acciones como la reorganización de turnos, la sensibilización y capacitación de los operadores de equipos y trabajadores en general, la aplicación de

listas de verificación de fatiga y el fortalecimiento del control operativo por parte de la supervisión.

En la etapa de evaluación, se volvió a aplicar los instrumentos de recolección de datos bajo las mismas condiciones metodológicas, con el objetivo de identificar los cambios producidos tras la implementación del sistema. Esta comparación permitió analizar la variación en los niveles de fatiga y la ocurrencia de incidentes y accidentes en los operadores de equipos.

Figura 14. *Capacitación Permanente de los Trabajadores*



4.1.2. Condiciones y Criterios del Trabajo de Campo

El trabajo de campo se realizó respetando las normas de seguridad y salud ocupacional vigentes en la unidad minera, garantizando en todo momento la integridad física de los participantes. La recolección de datos se llevó a cabo durante jornadas previamente coordinadas con la supervisión, evitando interferir con la continuidad de las operaciones.

Hernández et al. (2006) indican que el trabajo de campo debe desarrollarse bajo criterios éticos y metodológicos que aseguren la validez de la información recolectada. En ese sentido, los operadores participaron de manera voluntaria y la información obtenida fue utilizada exclusivamente con fines académicos, preservando la confidencialidad de los datos.

4.1.3. Importancia del Trabajo de Campo en la Investigación

El desarrollo del trabajo de campo permitió obtener información empírica relevante para evaluar la efectividad del Sistema de Gestión de la Fatiga en un entorno real de operación minera. De acuerdo con Tamayo y Tamayo (2004), el trabajo de campo fortalece la validez de los resultados al basarse en hechos observables y medibles.

En consecuencia, el trabajo de campo constituyó un elemento clave para sustentar los resultados y conclusiones de la investigación, al permitir contrastar la teoría con la práctica y demostrar la influencia de la gestión de la fatiga en la prevención de incidentes en operadores de equipos.

4.1.4. Generalidades de la Rampa Esperanza

Volcan Cía. Minera S.A.A. (VCMSAA) es una empresa dedicada a la explotación de minerales polimetálicos de zinc, plomo, cobre y plata, produciendo hasta tres tipos de concentrados. Su producción alcanza las 20,000 toneladas diarias provenientes de sus diversas minas ubicadas en la zona central del Perú**.** La Unidad Minera de Cerro de Pasco a cargo de la Empresa Administradora Cerro S.A.C. propietaria de la Unidad Minera Cerro de Pasco, tiene como principales componentes las operaciones la mina subterránea Paragsha y el tajo abierto Raúl Rojas**.** En la actualidad una de las actividades principales en interior mina es el sostenimiento, mantenimiento y conservación de los accesos hacia las cámaras de bombas y al sistema de drenaje; es importante dejar en perfectas condiciones operativas la rehabilitación y

sostenimiento de la Rampa Esperanza garantizando la seguridad tanto para el tránsito de personal como la de los equipos y vehículos móviles, trabajos a cargo de la Empresa RESEFER Mining & Construction S.A.

Equipos, Vehículos y Herramientas

Los equipos, vehículos y herramientas utilizados en la obra son de propiedad de la Empresa RESEFER Mining & Construction S.A.

Figura 15. *Transportador de Concreto*



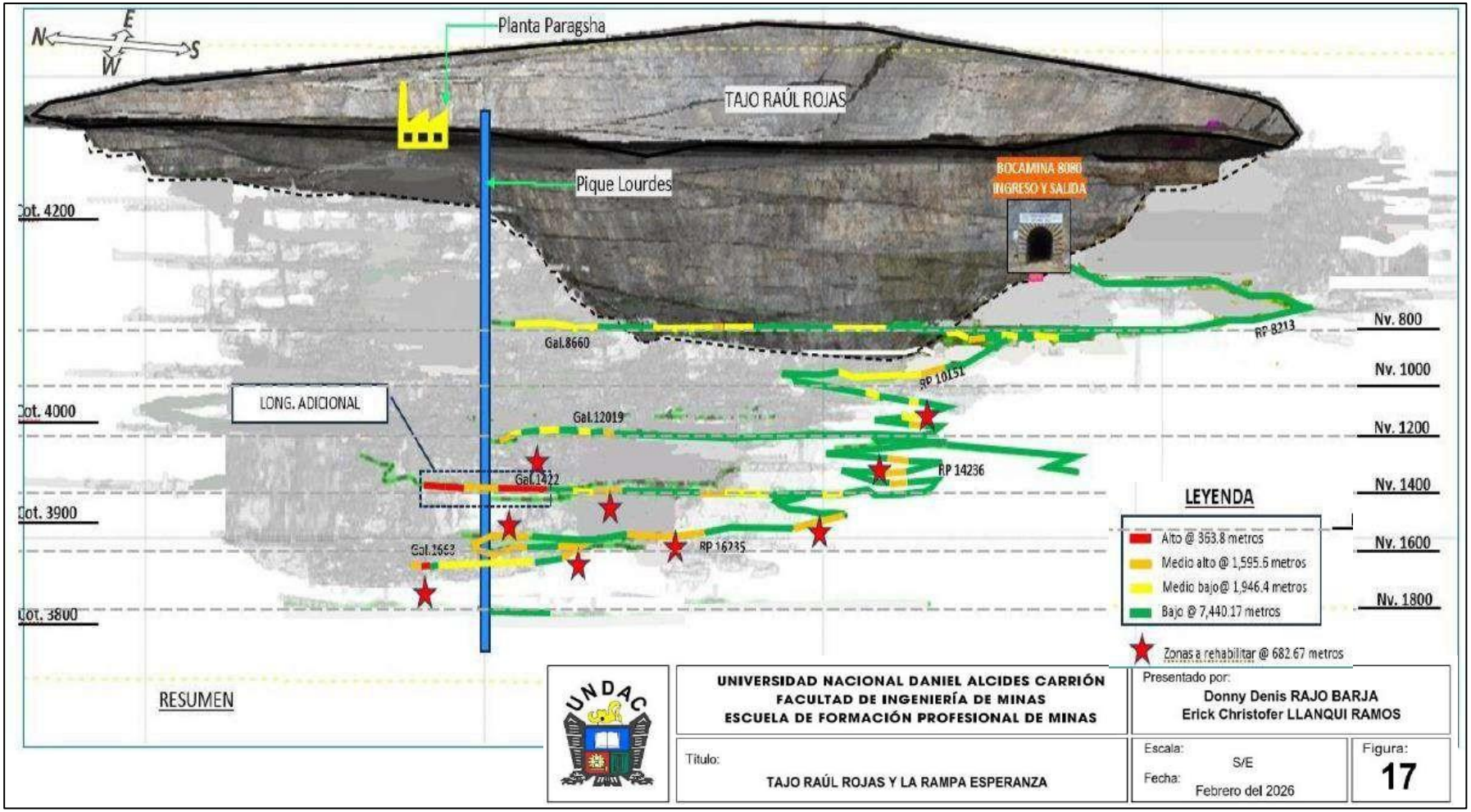
La Rampa Esperanza tiene una longitud de 5325 metros lineales. Los trabajos de habilitación y sostenimiento se realizaron por la Empresa Especializada RESEFER Mining & Construction.

Tabla 12. *Vehículos y Equipos Mecanizados*

EQUIPOS MECANIZADOS	CANTIDAD	CONDICIÓN
Jumbo Empernador Bolter 99	1	Alquiler
Scooptram de 4.0 yd3	1	Propio
Telehandler Manitou	1	Propio
Camión de Servivios	1	Alquiler
Cable tec	1	Propio
Scaler	1	Alquiler
TOTAL EQUIPOS	**6**	

Nota. Los datos de la tabla son de propiedad de Volcan Compañía Minera S.A.A. UO de CP.

Figura 16. *Tajo Raúl Rojas y la Rampa Esperanza*



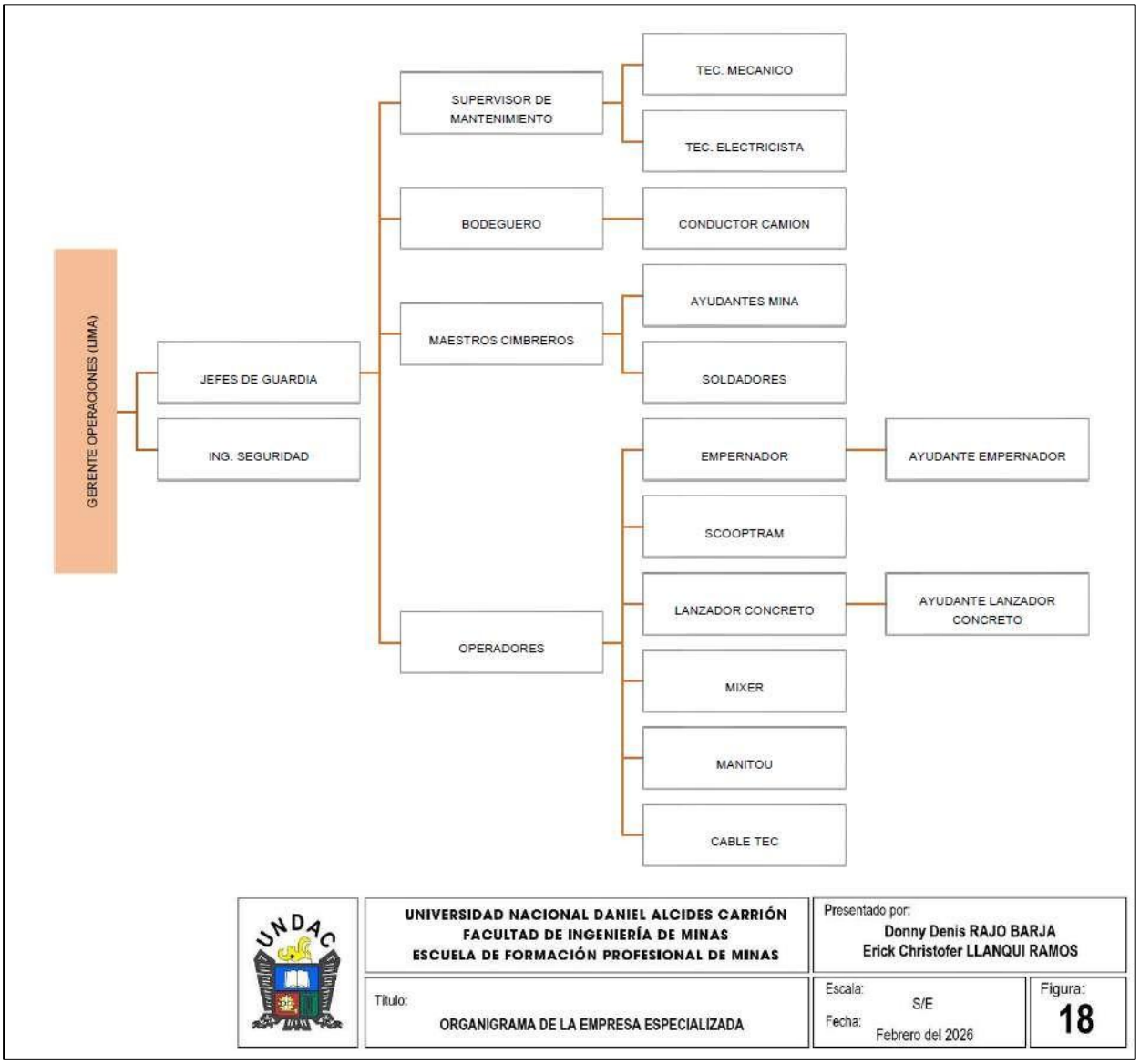
Nota. La figura es de propiedad de Volcan Compañía Minera S.A.A. Unidad Cerro de Pasco.

Tabla 13. *Relación de Equipos, Vehículos y Herramientas*

EQUIPOS	Cantidad	Marca	Modelo	Año	Capacidad	N° De Serie	Motor	Horas
JUMBO EMPERNADOR	1	RESEFER	ROCK BOLT 320	2023	5 - 7 Pies		CUMMIS QSB4.5MX-PU	340
SCOOP 4.2 YD3	1	CATERPILLAR	R1300 H	2023	4.2 yd3		MOTOR C 11 CATERPILLAR	2400
DESATADOR	1	RESEFER	ROCK BRAKER	2024	7 Mts.		MOTOR DEUTZ BF4M	180
TRANSPORTADOR DE CONCRETO	1	RESEFER	CICLON 4.0	2024	4 M3		CUMMINS QSB 4.5	576
LANZADOR DE CONCRETO	1	RESEFER	SPRAY MIX	2024	20 M3/HRA		4 M3 168 KW (225 HP) A 2 200 RPM	420
CAMION	1	HYUNDAI	HINO	2024	3.5 – 4.0 TON		TURBO INTERCOOLER	7500 km
	3							

Nota. Los datos de la tabla son de propiedad de Volcan Compañía Minera S.A.A. Unidad Cerro de Pasco.

Figura 17. *Organigrama de la Empresa Especializada*



Nota. Los datos de la figura son de propiedad de Volcan Compañía Minera S.A.A. Unidad Cerro de Pasco.

Recursos Humanos y Organigrama de la Empresa Especializada

El organigrama de la empresa encargada de la rehabilitación de la rampa minera presenta una estructura jerárquica funcional, orientada a asegurar el control operativo, la supervisión técnica y la seguridad durante el desarrollo de las labores en minería subterránea.

En el nivel superior de la estructura organizacional se encuentra el Gerente de Operaciones (IMA), quien es responsable de la planificación, dirección y control

general de todas las actividades relacionadas con la rehabilitación de la rampa, así como del cumplimiento de los objetivos operativos, de seguridad y productividad.

Bajo la dependencia directa del Gerente de Operaciones se encuentran los Jefes de Guardia, encargados de la supervisión directa de las labores durante cada turno de trabajo, asegurando la correcta ejecución de las actividades operativas y el cumplimiento de los procedimientos establecidos. Asimismo, se encuentra el Ingeniero de Seguridad, responsable de la implementación, control y seguimiento del sistema de Seguridad y Salud Ocupacional, incluyendo la prevención de riesgos laborales y la gestión de incidentes.

En el nivel intermedio del organigrama se ubica el Supervisor de Mantenimiento, quien tiene a su cargo la coordinación y supervisión del mantenimiento de equipos e instalaciones. Bajo su responsabilidad directa se encuentran el Técnico Mecánico y el Técnico Electricista, encargados de ejecutar las labores de mantenimiento mecánico y eléctrico, respectivamente, garantizando la operatividad y seguridad de los equipos utilizados en la rehabilitación de la rampa.

Asimismo, se cuenta con el Bodeguero, responsable de la gestión, control y abastecimiento de materiales, insumos y herramientas necesarias para las operaciones, apoyado operativamente por el Conductor de Camión, quien realiza el transporte de materiales dentro de la operación minera.

Otro nivel importante lo conforman los Maestros Cimbreros, quienes supervisan las labores relacionadas con el sostenimiento y las estructuras de soporte de la rampa. Bajo su coordinación se encuentran los Ayudantes de Mina y los Soldadores, quienes ejecutan trabajos de apoyo operativo y soldadura en las labores de rehabilitación y sostenimiento.

En el nivel operativo se ubica el grupo de Operadores, responsables de la operación directa de los equipos y maquinaria pesada utilizados en la rehabilitación de la rampa. Este grupo incluye a operadores de Empernador, asistidos por el Ayudante Empernador; operadores de Scooptram; operadores de Lanzador de Concreto, apoyados por el Ayudante Lanzador de Concreto; operadores de Mixer; operadores de Manitou; y operadores de Cable Tec, cada uno cumpliendo funciones específicas dentro del proceso constructivo.

En conjunto, esta estructura organizacional permite una adecuada distribución de responsabilidades, una línea clara de mando y supervisión, y una coordinación eficiente entre las áreas operativas, de mantenimiento y de seguridad, aspectos fundamentales para garantizar la continuidad de las operaciones y la prevención de incidentes durante la rehabilitación de la rampa minera. Ver la Figura 18.

Tabla 14. *Mano de Obra*

PERSONAL	MANO DE OBRA	CANTIDAD
SUPERVISIÓN	Ing. Seguridad	3
	supervisión	3
ALMACEN	Bodeguero	2
CIMBREROS	Maestro Mina	3
	Ayudante Mina	6
	Soldador	3
OPERADORES	Operadores de Empernador	3
	Ayudante Jumbo Empernador Bolter	3
	Operadores de Scooptram	3
	Operador de Telehandler/Manitou	3
	Operador de scaler	3
	Conductor de camión	3
	Operador de Cable TEC	3

PERSONAL	MANO DE OBRA	CANTIDAD
MECANICOS	Supervisor de Mantenimiento	1
	Técnico mecánico	3
	Técnico Electricista	3
	TOTAL PERSONAL	**48**

Nota. Los datos de la tabla ha sido extraido de Volcan Compañía Minera S.A.A.

Tabla 15. *Equipos y Personal para Shotcrete Mecanizado*

ITEM	EQUIPOAS Y PERSONAL PARA SHOTCRETE MECANIZADO	CANTIDAD
EQUIPOS	Mixer	2
	Putzmeister	1
	TOTAL EQUIPO	**3**
PERSONAL	Operador Mixer	6
	Operador Putzmeister	3
	Ayudante Putzmeister	3
	TOTAL PERSONAL	**12**

Nota. Los datos de la tabla ha sido extraido de Volcan Compañía Minera S.A.A.

Tabla 16. *Distancia por Sostener*

Nivel	Longitud (metros)
800	1556.64 m
1000	948.93 m
1200	1051.54 m
1400	1767.91 m
Total general	**5325.02 m**

Nota. Los datos de la tabla ha sido extraido de Volcan Compañía Minera S.A.A.

Tabla 17. *Tipos de Sostenimiento por Niveles*

Nivel	Tipo de sostenimiento	Suma de Longitud (m)
800	Cimbras	155.02
	Malla + Perno helicoidal	337.77
	No requiere sostenimiento	23.46
	Perno Helicoidal E=1.20 x 1.20	68.77
	Shot 2 + Malla + Perno Helicoidal	41.73
	Shot 2 + Perno Helicoidal E=1.20 x 1.20	521.89
	SIN EVALUACIÓN	408
Total 800		**1556.64 m**
1000	Cimbras	21.5

Nivel	Tipo de sostenimiento	Suma de Longitud (m)
	Malla + Perno helicoidal	500
	Perno Helicoidal E=1.20 x 1.20	404.49
	Shot 2 + Perno Helicoidal E=1.20 x 1.20	22.94
Total 1000		**948.93 m**
1200	Cimbras	17
	Malla + Perno helicoidal	126.32
	No requiere sostenimiento	25.1
	Perno Helicoidal E=1.20 x 1.20	784.81
	Shot 2 + Perno Helicoidal E=1.20 x 1.20	98.31
Total 1200		**1051.54 m**
1400	Cimbras	104
	Malla + Perno helicoidal	650.46
	No requiere sostenimiento	53.82
	Perno Helicoidal E=1.20 x 1.20	276.35
	Shot 2 + Malla + Perno Helicoidal	48.34
	Shot 2 + Perno Helicoidal E=1.20 x 1.20	634.94
Total 1400		**1767.91 m**
Total general		**5325.02 m**

Nota. Los datos de la tabla ha sido extraido de Volcan Compañía Minera S.A.A.

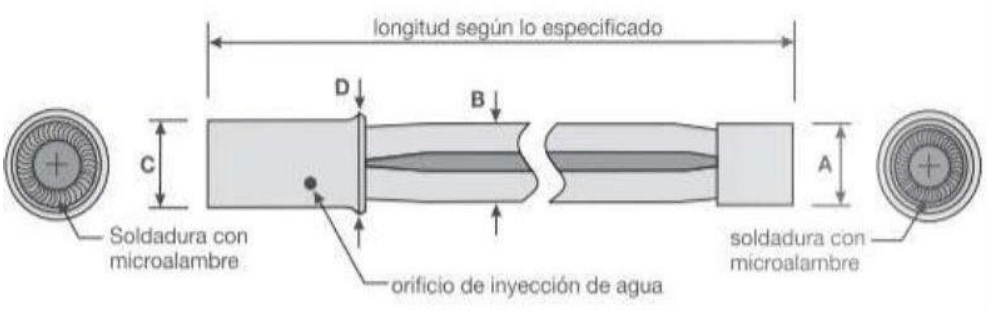
Elementos de Sostenimiento

Los elementos de sostenimiento de la Rampa Esperanza son los siguientes:

a) Perno Swellex Omega Bolt

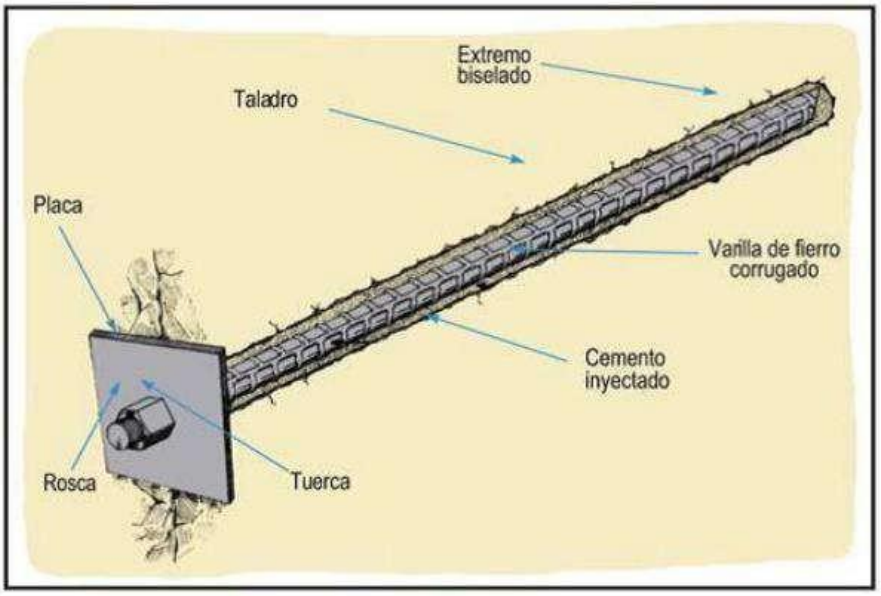
El perno swellex está formado por un tubo de diámetro original de 26 mm y con longitud de 2.10 m. el cual es plegado durante su fabricación para crear una unidad de 25 a 28 mm de diámetro. Éste es insertado en un taladro de 32 a 37 mm de diámetro. Ver Figura 19.

Tabla 18. *Perno Swellex Omega Bolt*



Es una barra de acero helicoidal cuya sección transversal es ovalada, con resaltes en forma de un hilo helicoidal izquierdo, que actúa en colaboración con un sistema de fijación formado por una placa de acero perforada y una tuerca de fundición nodular, las cuales actúan de forma complementaria para reforzar y preservar la resistencia natural del macizo rocoso. La longitud a instalar ha sido de 7 pies. Ver la Figura 20.

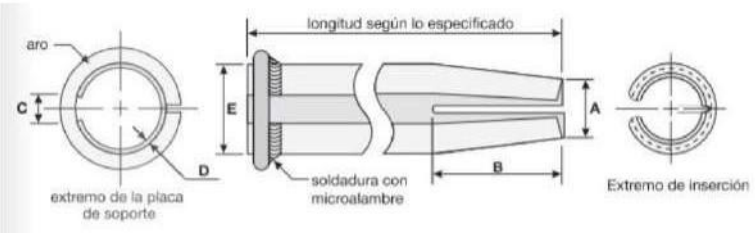
Figura 18. *Perno Helicoidal*



b) Perno Split Set

El split set de 7 pies, consiste de un tubo ranurado a lo largo de su longitud, uno de los extremos es ahusado y el otro lleva un anillo soldado para mantener la platina su instalación es a fricción.

Figura 19. Perno Split Set



c) Shotcrete

El shotcrete consiste en hormigón o mortero colocado por proyección neumática de alta velocidad desde una boquilla. Sus componentes son áridos, cemento y agua, y se puede complementar con materiales finos, aditivos químicos y fibras de refuerzo.

Figura 20. *Sostenimiento de la Rampa Usando el Concreto Lanzado*



d) Cimbras

La cimbra es una estructura metálica rígidas y muy fuertes para soportar la carga desde bloques de rocas hasta fragmentos de rocas, estas cimbras evitan el escurrimiento, la cimbra debe de ajustarse a la forma, dimensiones, niveles, alineamientos y acabado. Ve la Figura 23.

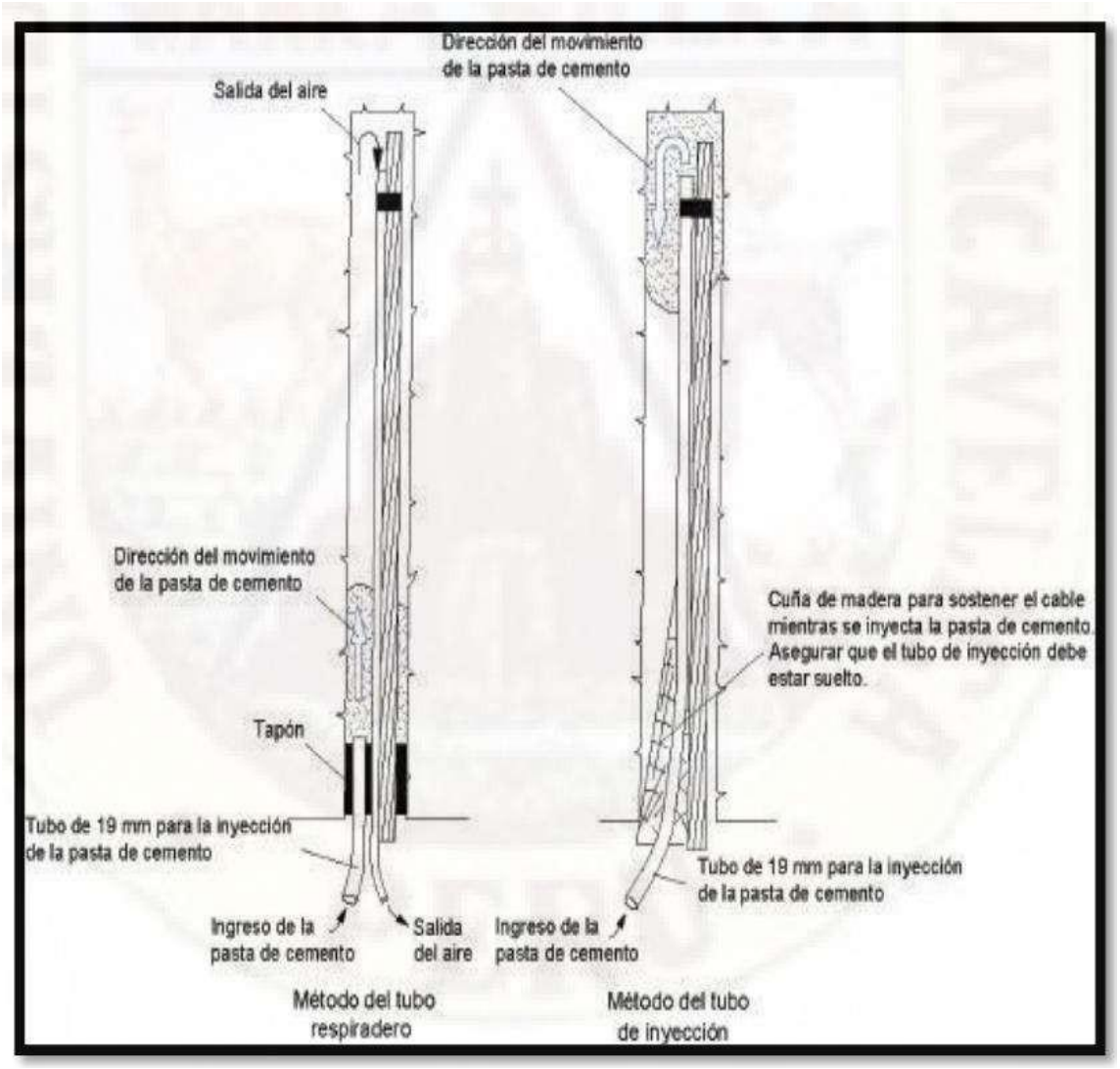
Figura 21. *Sostenimiento con Cimbras*



e) Cable Bolting

Es un cable de acero sección transversal está conformado por varios cables, los cables sirven para sostener bloques de roca, se pueden instalar en diferentes medidas su capacidad portante es a 20 - 25 Toneladas. Ver la Figura 24.

Figura 22. *Cable Bolting*



4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

La tesis titulada “Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga para Prevenir Incidentes en Operadores de Equipos en Minería Subterránea, 2023–2024” tuvo como propósito evaluar los efectos de la implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga (SGF) en la reducción de incidentes asociados a la operación de equipos durante la rehabilitación de una rampa minera subterránea.

Los resultados obtenidos se presentan considerando la comparación antes y después de la implementación del SGF, de acuerdo con los indicadores establecidos para las variables de estudio.

4.2.1. Resultados Relacionados con la Gestión de la Fatiga

Luego de la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga, se evidenció una mejora significativa en la organización de los turnos de trabajo, el cumplimiento de pausas operativas y la sensibilización de los operadores respecto a los riesgos asociados a la fatiga laboral. Los registros de observación y los trabajos de campo como el Chek list mostraron una disminución de reportes de somnolencia y cansancio extremo, especialmente en los turnos prolongados y nocturnos, de 3 guardias de 12 horas siendo 2 efectivas y 1 guardia de descanso con el sistema de 14x7.

Asimismo, se observó un incremento en el nivel de conocimiento de los operadores sobre la fatiga y sus efectos en la seguridad, como resultado de las actividades de capacitación y concientización implementadas. Estos resultados reflejan una mayor cultura preventiva y un mejor control del riesgo asociado al factor humano.

4.2.2. Resultados Sobre los Incidentes en Operadores de Equipos

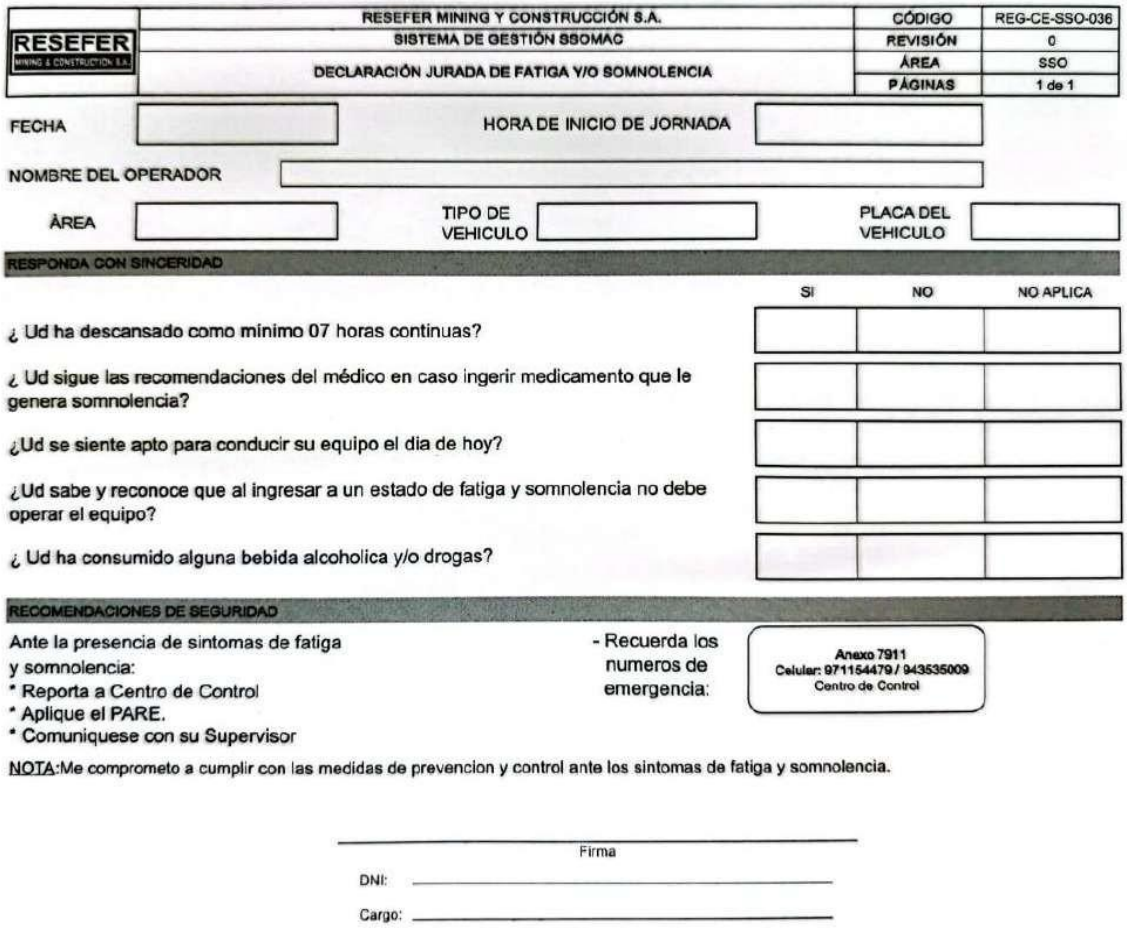
En relación con la variable dependiente, los registros documentales evidenciaron una reducción en la frecuencia de incidentes durante el periodo posterior a la implementación del SGF. Los incidentes asociados a errores operativos, distracción y pérdida momentánea de control mostraron una tendencia decreciente en comparación con el periodo previo.

Asimismo, se identificó una reducción en la ocurrencia de incidentes durante las horas finales de los turnos, etapa en la que previamente se concentraba un mayor número de eventos. Estos resultados indican que la gestión adecuada de la fatiga contribuyó a mejorar el estado de alerta de los operadores y a disminuir la probabilidad de eventos no deseados.

4.2.3. Determinación de la Eficiencia del Sueño

Con la Declaración Jurada de Fatiga y Somnolencia y el uso del Sistema de Control de Fatigas usando las pulseras Reidband se determinó la eficiencia del sueño de los operadores de equipos de la rehabilitación de la Rampa Esperanza. Los promedios se presentan en las siguientes figuras.

Figura 23. *Declaración Jurada de Fatiga y/o Somnolencia*



RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A.	RESEFER MINING Y CONSTRUCCIÓN S.A.	CÓDIGO	REG-CE-SSO-036
	SISTEMA DE GESTIÓN SSOMAC	REVISIÓN	0
	DECLARACIÓN JURADA DE FATIGA Y/O SOMNOLENCIA	ÁREA	SSO
		PÁGINAS	1 de 1

FECHA | HORA DE INICIO DE JORNADA

NOMBRE DEL OPERADOR

ÁREA | TIPO DE VEHICULO | PLACA DEL VEHICULO

RESPONDA CON SINCERIDAD

	SI	NO	NO APLICA
¿ Ud ha descansado como minimo 07 horas continuas?			
¿ Ud sigue las recomendaciones del médico en caso ingerir medicamento que le genera somnolencia?			
¿Ud se siente apto para conducir su equipo el dia de hoy?			
¿Ud sabe y reconoce que al ingresar a un estado de fatiga y somnolencia no debe operar el equipo?			
¿ Ud ha consumido alguna bebida alcoholica y/o drogas?			

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

Ante la presencia de sintomas de fatiga y somnolencia:
* Reporta a Centro de Control
* Aplique el PARE.
* Comuniquese con su Supervisor

- Recuerda los numeros de emergencia:

Anexo 7911
Celular: 971154479 / 943535009
Centro de Control

NOTA:Me comprometo a cumplir con las medidas de prevencion y control ante los sintomas de fatiga y somnolencia.

Firma

DNI: _____

Cargo: _____

Figura 24. *Eficiencia del Sueño de Enero del 2024*

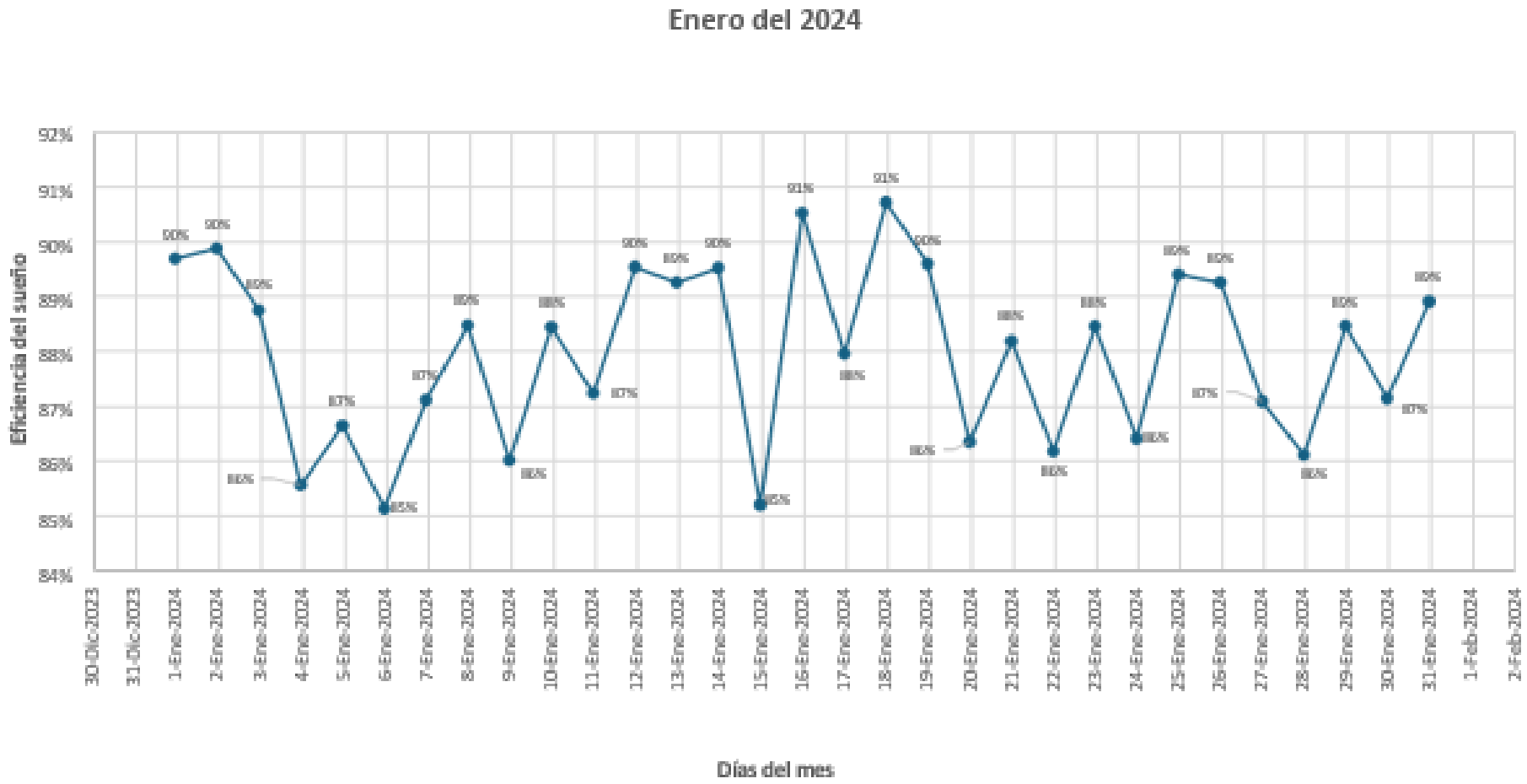


Figura 25. *Eficiencia del Sueño de Marzo del 2024*

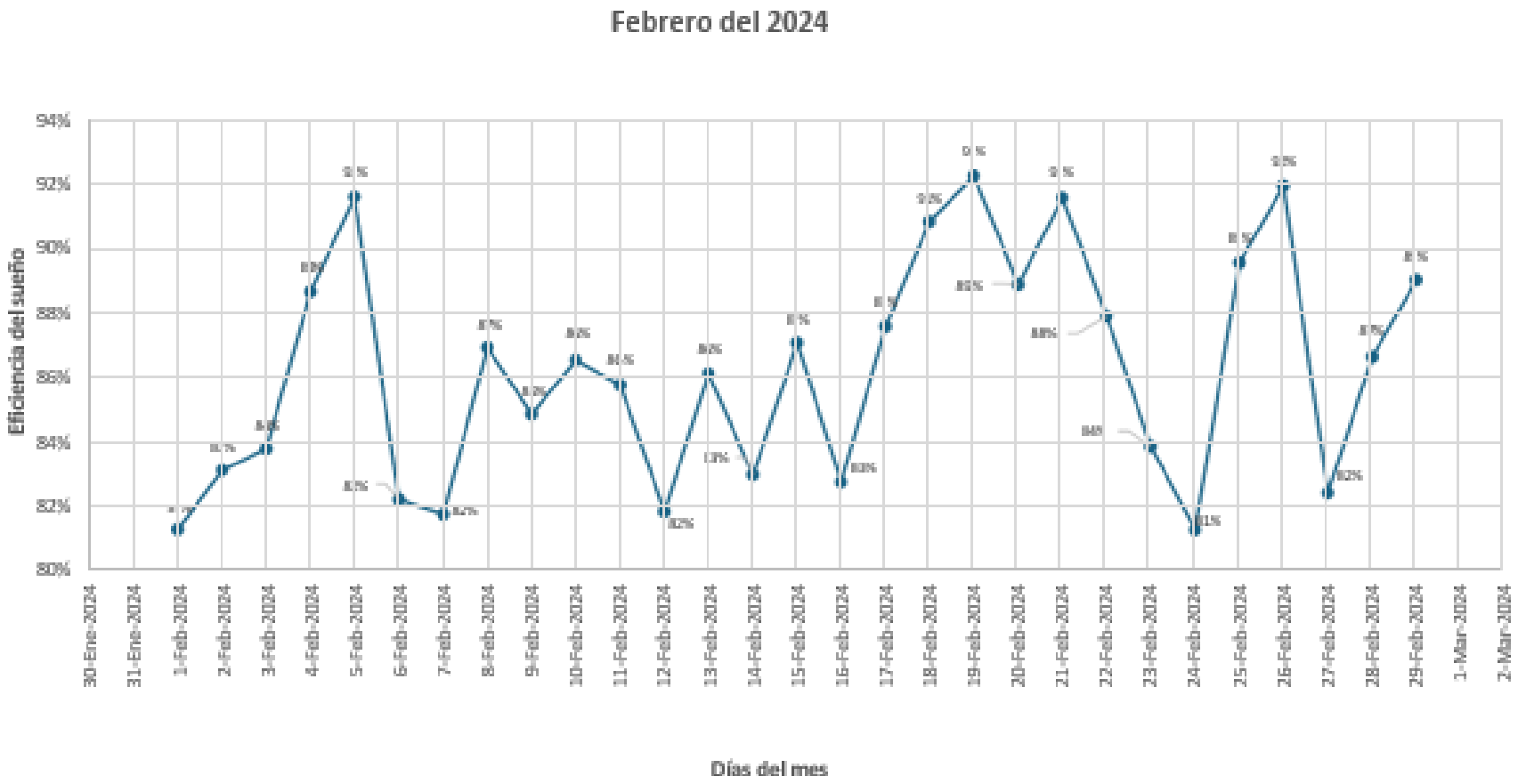


Figura 26. *Eficiencia del Sueño de Marzo del 2024*

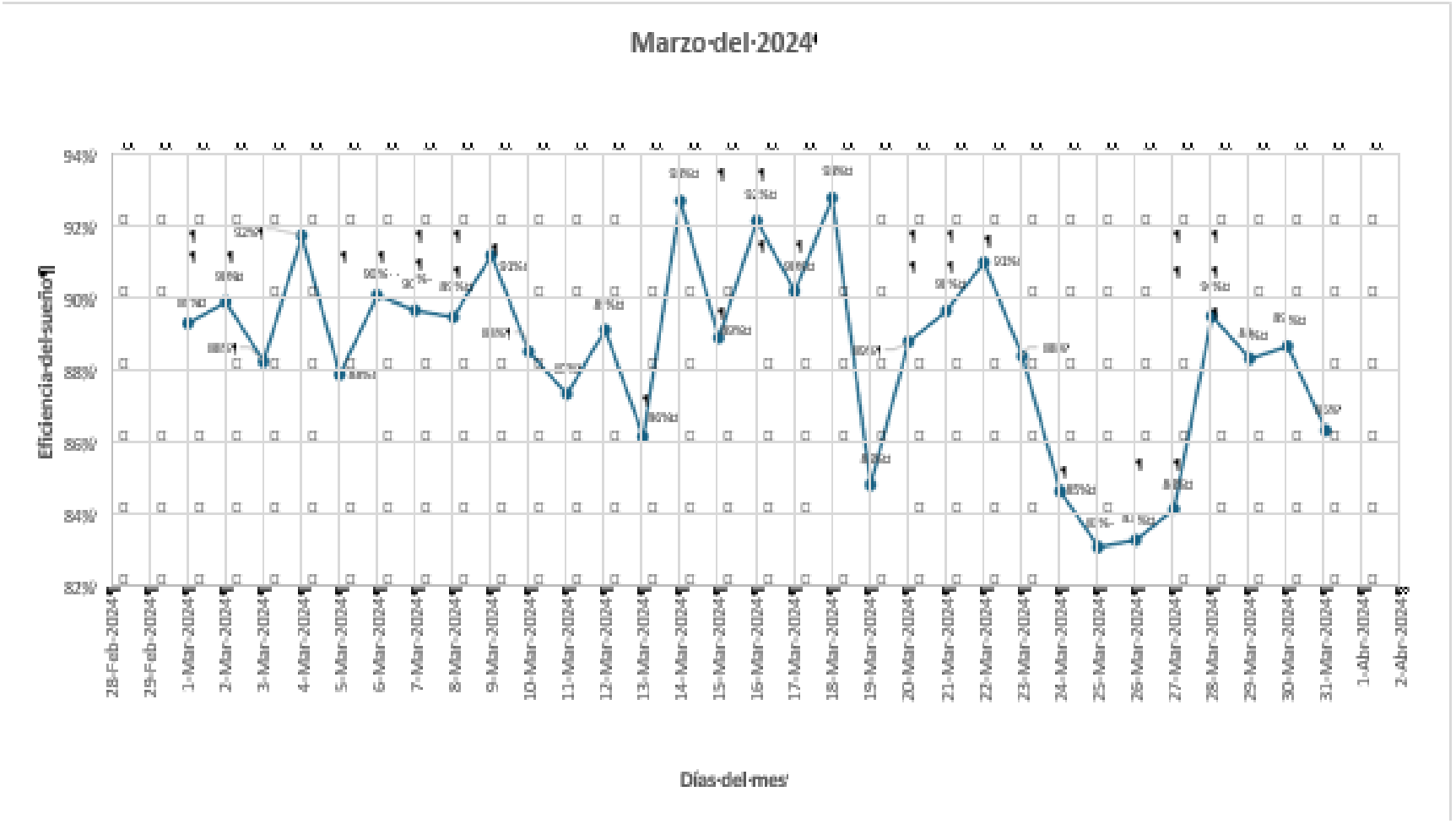


Figura 27. *Eficiencia del Sueño de Abril del 2024*

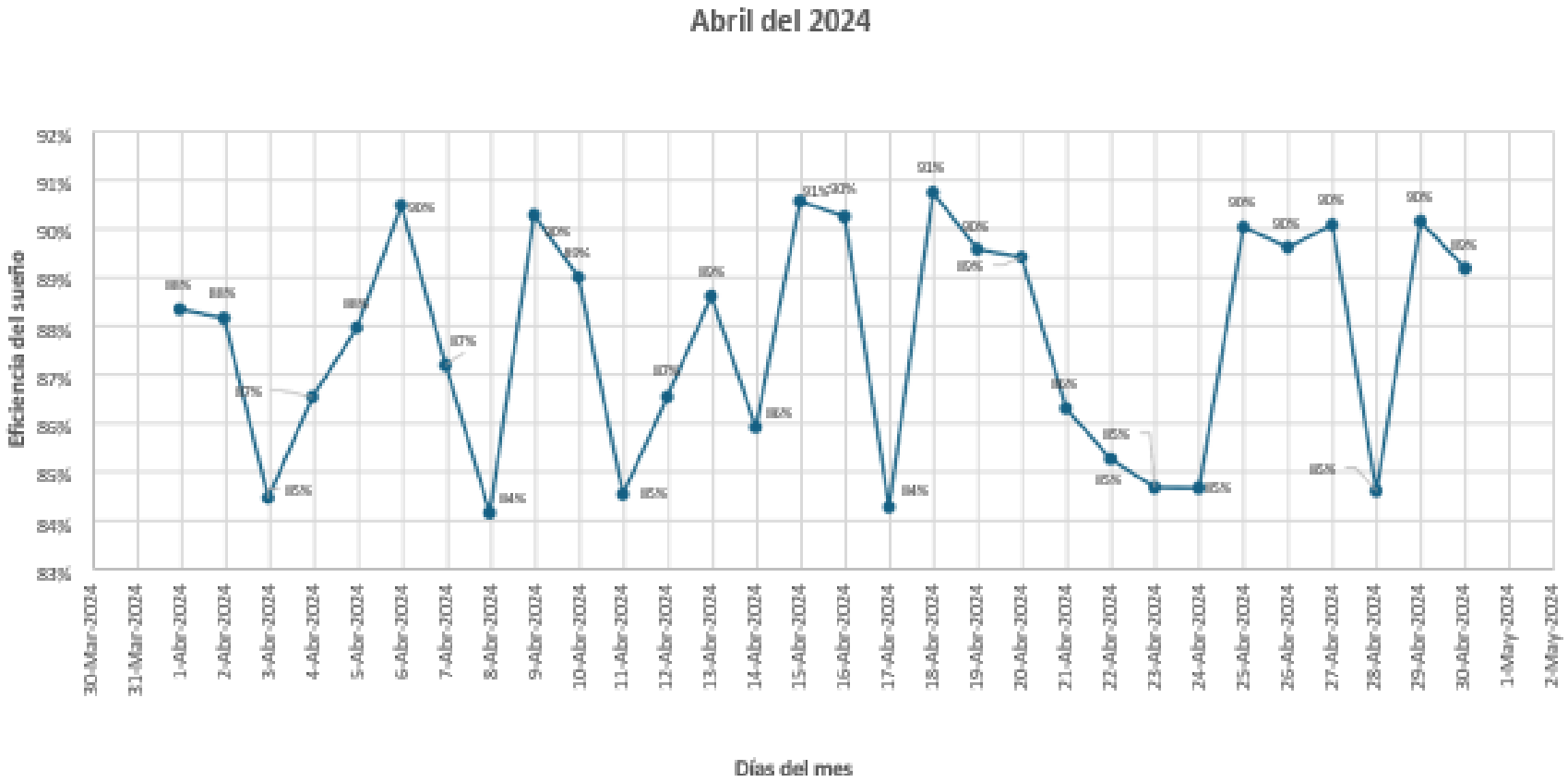


Figura 28. *Eficiencia del Sueño de Mayo del 2024*

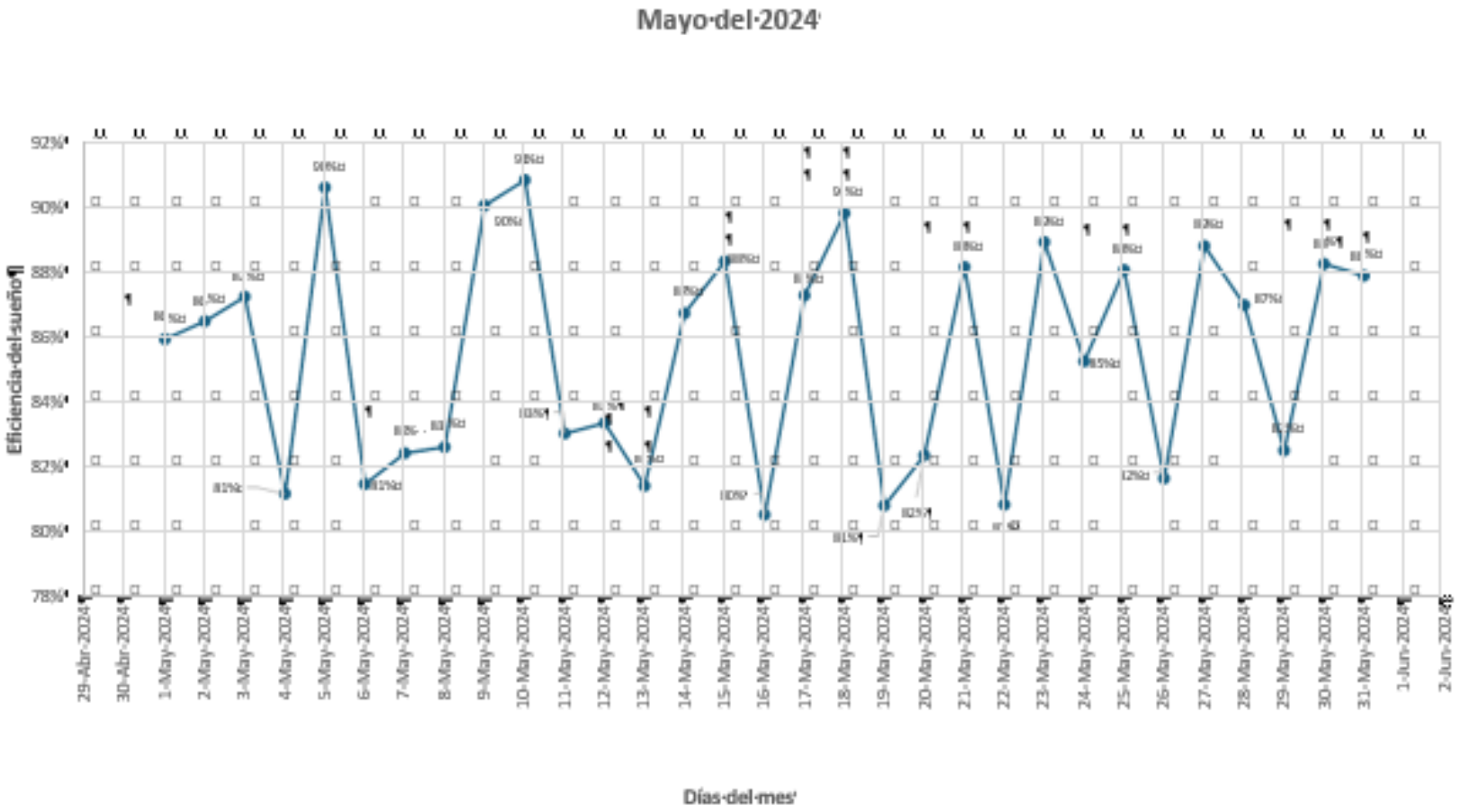


Figura 29. *Eficiencia del Sueño de Junio del 2024*

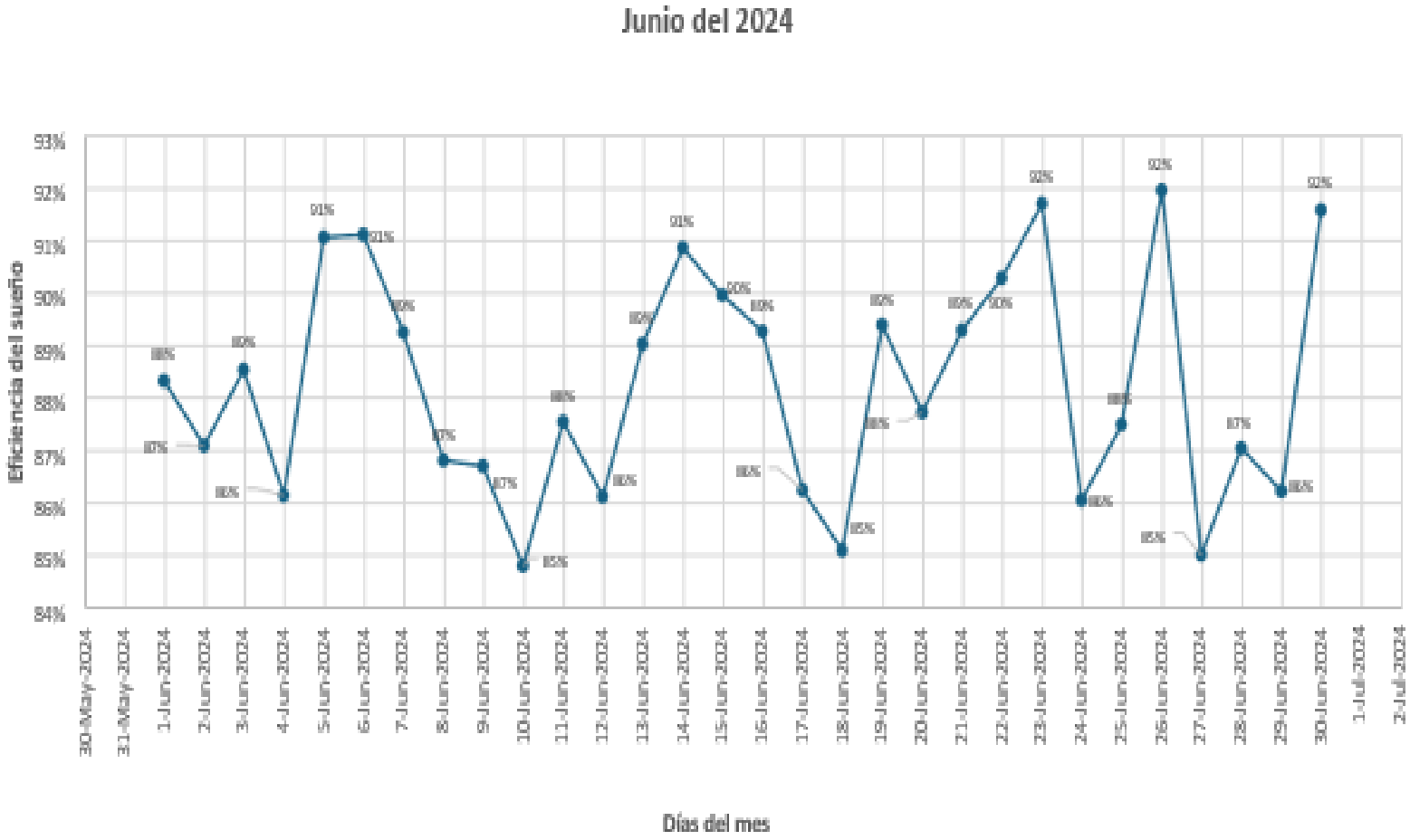


Figura 30. *Eficiencia del Sueño de Julio del 2024*

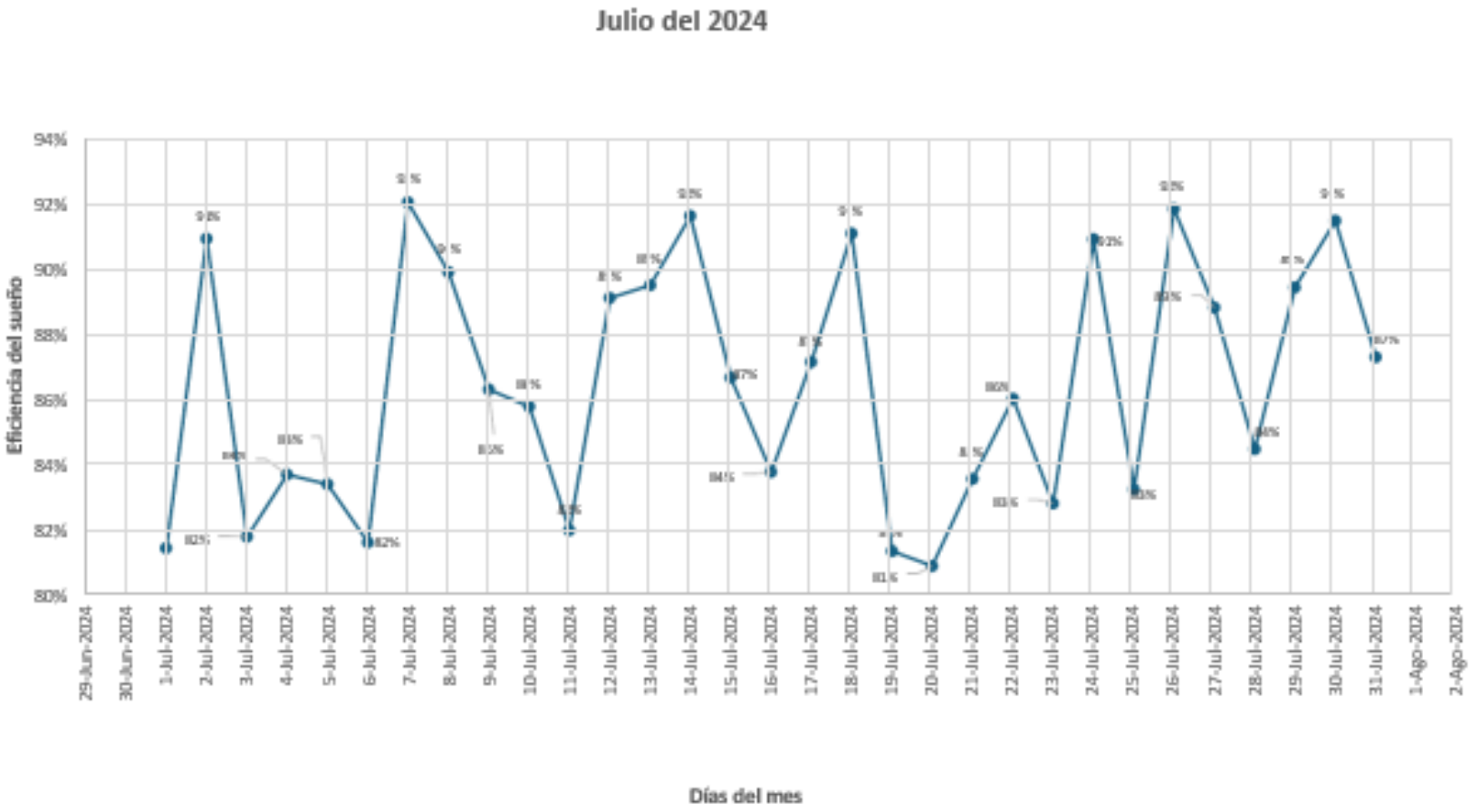


Figura 31. *Eficiencia del Sueño de Agosto del 2024*



Figura 32. *Eficiencia del Sueño de Septiembre del 2024*

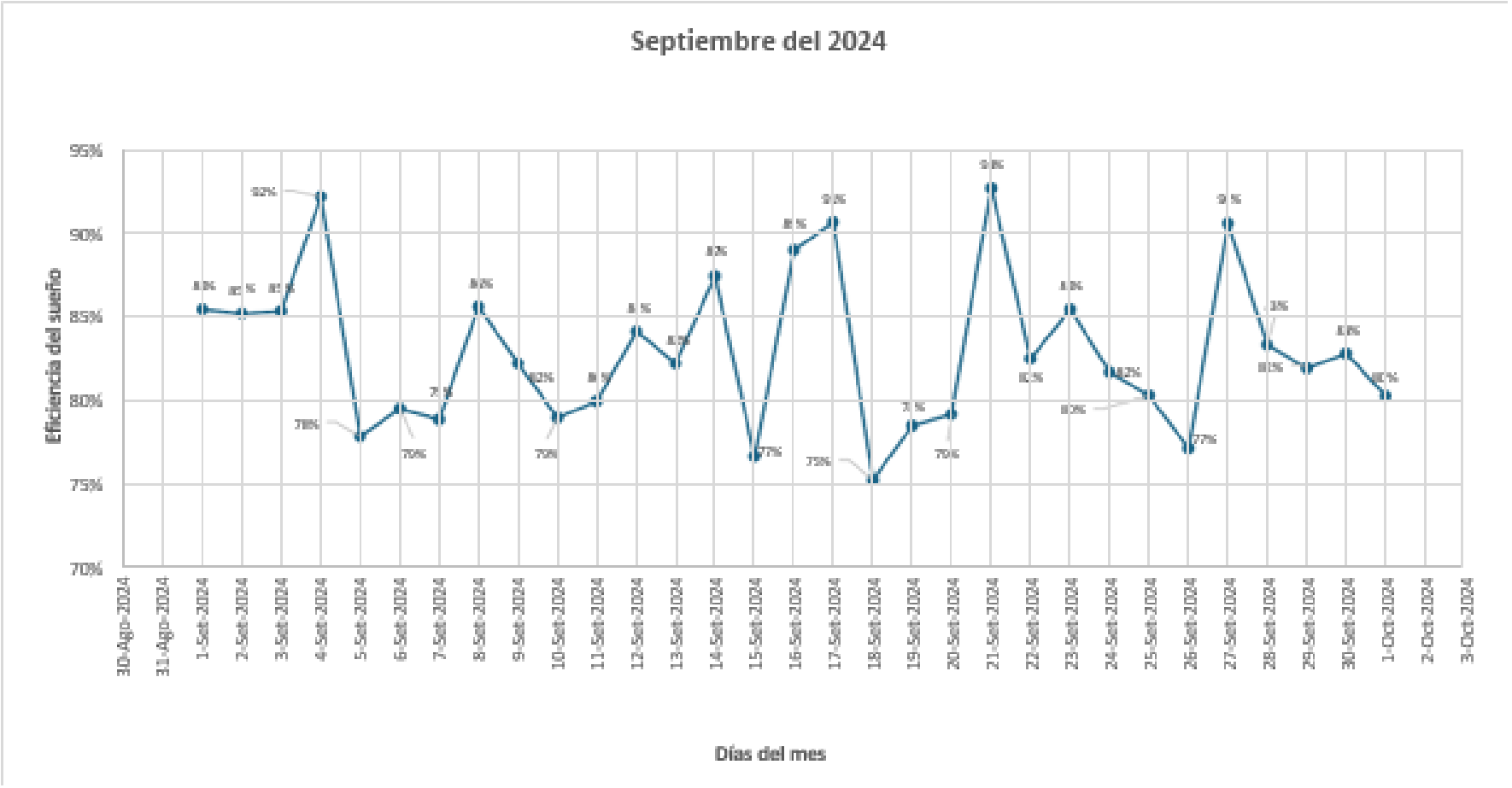


Figura 33. *Eficiencia del Sueño de Octubre del 2024*

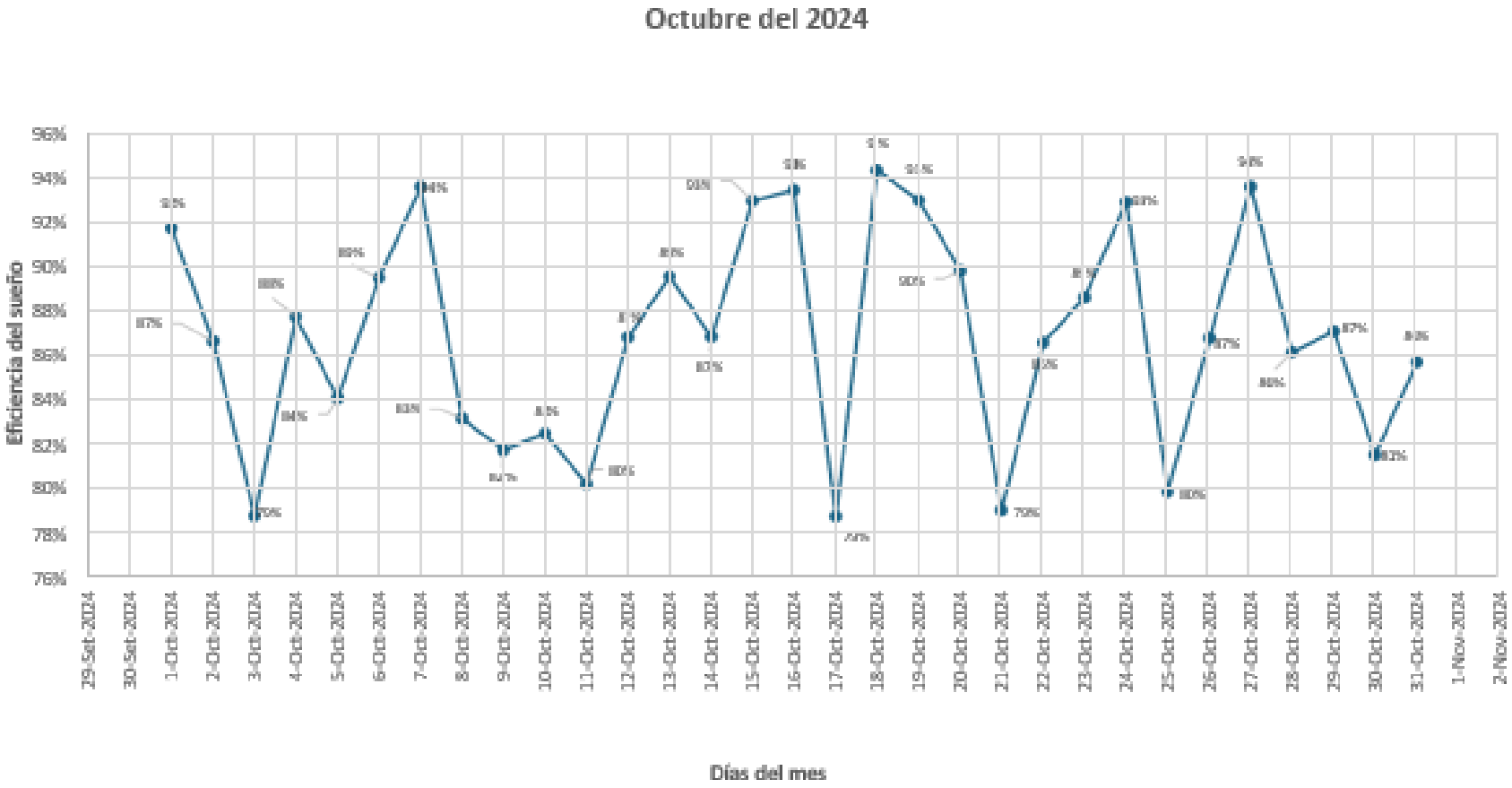


Figura 34. *Eficiencia del Sueño de Noviembre del 2024*

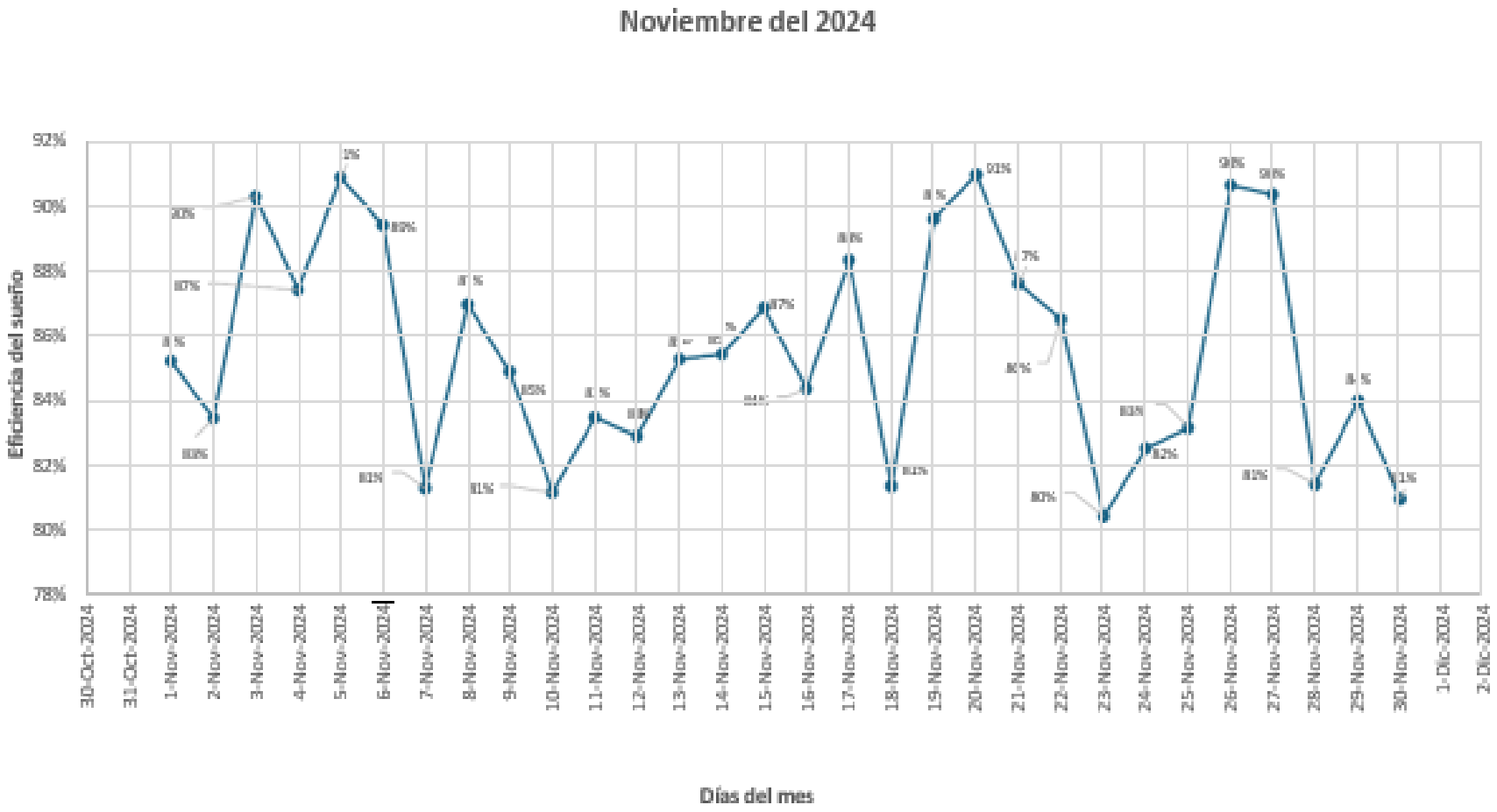
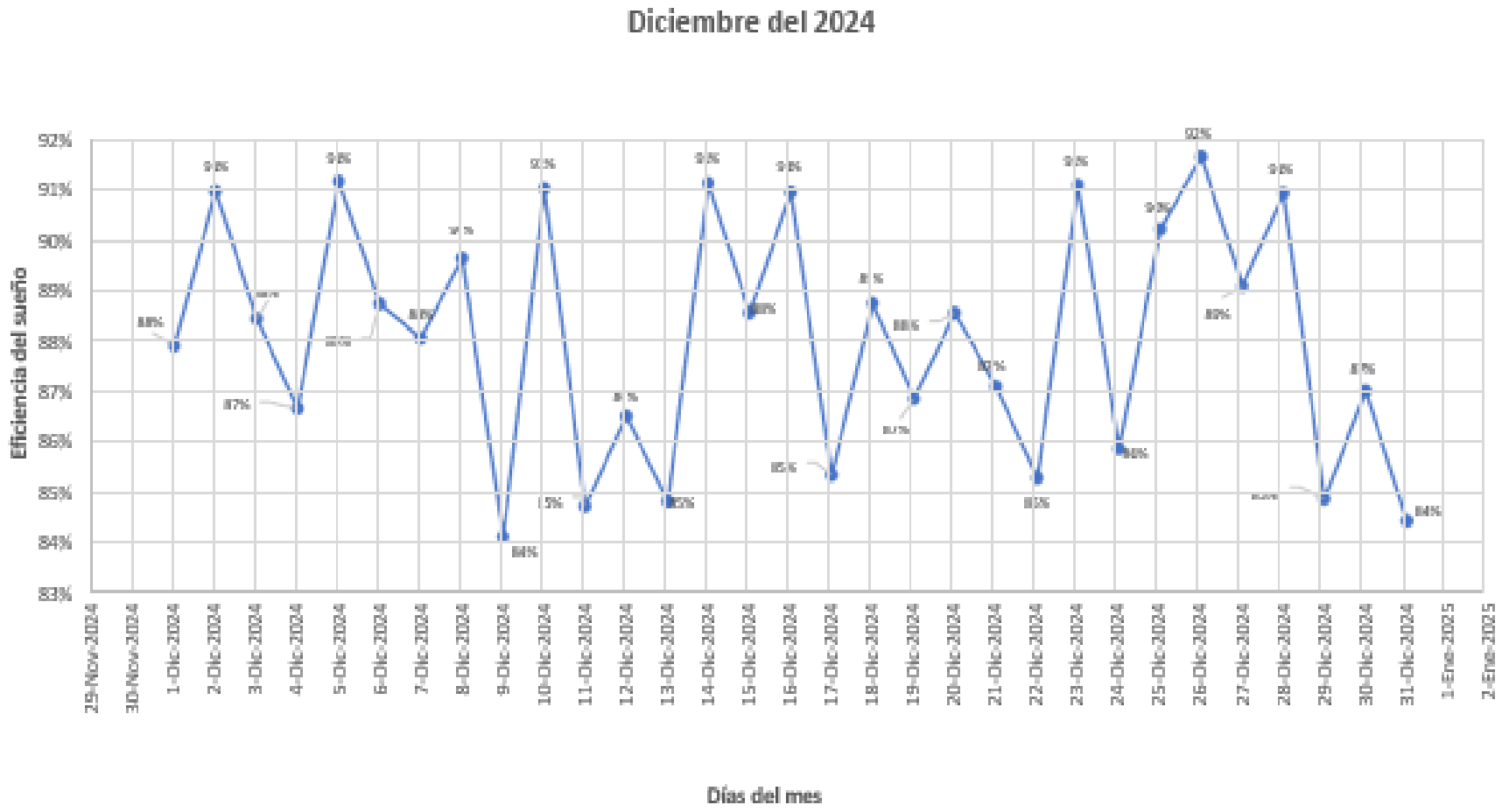


Figura 35. *Eficiencia del Sueño de Diciembre del 2024*



4.3. Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis consiste en verificar la relación causal entre las variables de estudio: la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga (variable independiente) y los incidentes en operadores de equipos (variable dependiente).

Según Hernández et al. (2014), la prueba de hipótesis consiste en un proceso estadístico que permite contrastar afirmaciones teóricas formuladas previamente, utilizando datos empíricos recolectados durante la investigación. De igual manera, Tamayo (2007) señala que la prueba de hipótesis permite aceptar o rechazar una proposición de investigación con un nivel de confianza previamente establecido.

4.3.1. Hipótesis general

La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga influye significativamente en la prevención de incidentes y accidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan S.A. Unidad Cerro de Pasco. Los datos se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. *Número de Incidentes y Accidentes en la UM Cerro de Pasco*

Id	Fecha	Sistema de Gestión de la Fatiga	Nro. Incidentes + Nro. Accidentes
1	ene-23	1	3
2	feb-23	1	4
3	mar-23	1	4
4	abr-23	1	3
5	may-23	1	4
6	jun-23	1	3
7	jul-23	1	4
8	ago-23	1	3
9	sep-23	1	4
10	oct-23	1	2
11	nov-23	1	3
12	dic-23	1	2
13	ene-24	2	4
Id	**Fecha**	**Sistema de Gestión de la Fatiga**	**Nro. Incidentes + Nro. Accidentes**
14	feb-24	2	2
15	mar-24	2	6
16	abr-24	2	3
17	may-24	2	3
18	jun-24	2	3
19	jul-24	2	3
20	ago-24	2	3
21	sep-24	2	2
22	oct-24	2	3
23	nov-24	2	2
24	dic-24	2	2

Nota. Las variables indican lo siguiente: SGF=Sistema de Gestión de la Fatiga, 1 = Antes de la implementación del SGF, 2 = Después de la implementación del SGF.

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:

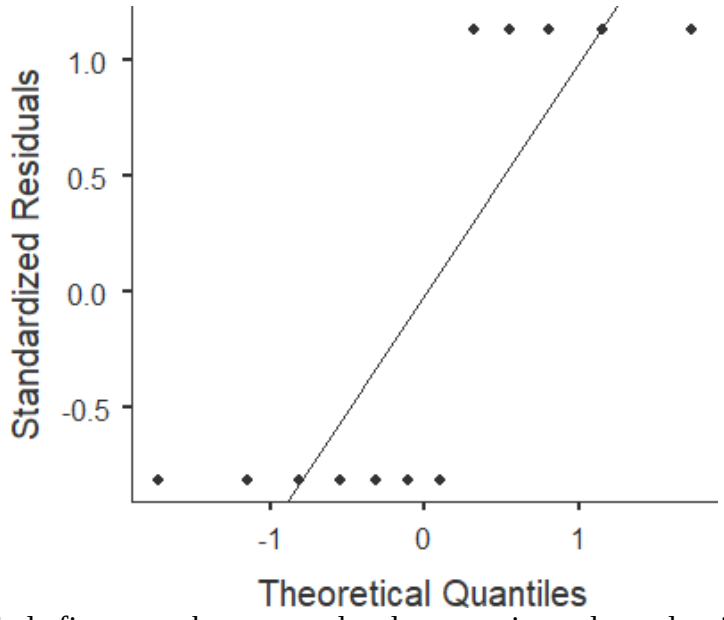
Tabla 20. *Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk*

			W	p
(Incid.+Accid.)2023	-	(Incid.+Accid.)2024	0.64	< .001

Note. A low p-value suggests a violation of the assumption of normality

Se obtiene para el Sistema de Gestión de la Fatiga antes y después de la implementación un valor de $p<0.05$, entonces se rechaza la hipótesis nula H_0, en consecuencia, los datos no siguen la tendencia de la curva normal. Ver la Figura 39.

Figura 36. *Gráficos Q-Q Plot de la curva normal*



Nota. En la figura se observa que los datos no siguen la tendencia de la curva normal.

Comparación de Grupos Relacionados

Sean:

H_0: La diferencia de las medias es igual a 0.

H_1: La diferencia de las medias es diferente de cero.

Usando el programa estadístico, tenemos:

Tabla 21. *Prueba de Wilcoxon*

			Statistic	p	Effect Size
Incid.+Accid. del 2023	Incid.+Accid. del 2024	Wilcoxon W	78	0.002	1

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

De la Tabla 21 el valor de $p<0.05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0), en consecuencia, existen diferencias significativas entre el número de (incidentes + accidentes) del Sistema de Gestión de la Fatiga antes y después de la implementación, en la rehabilitación de la rampa en la UM Cerro de Pasco de Vocan Compañía Minera S.A.A.

Según los criterios de *d* de *Cohen* evaluamos el tamaño del efecto. Ver la Tabla 22.

Tabla 22. *Criterios para la d de Cohen*

Coeficiente	Interpretación
Menor a 0.20	Nulo o Trivial
Entre 0.20 y 0.50	Pequeño
Entre 0.50 y 0.80	Mediano
Mayor a 0.80	Grande

Observando la Tabla 21, el tamaño del efecto = 1 en valor absoluto, según la Tabla 22, el tamaño del efecto es grande.

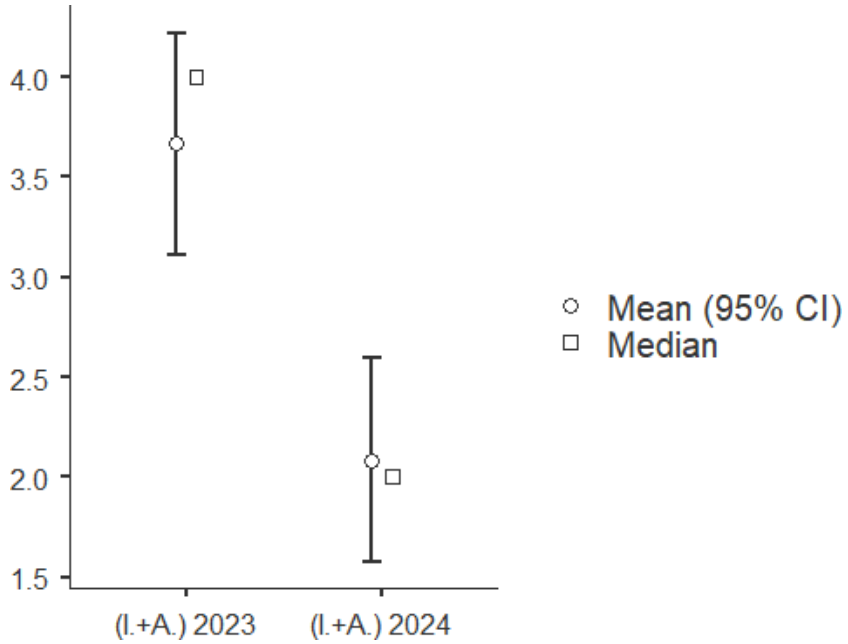
Ver la Tabla 23, donde se muestran los descriptivos de las variables.

Tabla 23. *Descriptivo de las Variables*

	N	**Mean**	**Median**	**SD**	**SE**
Incid.+Accid. del 2023	12	3.667	4	0.985	0.284
Incid.+Accid. del 2024	12	2.083	2	0.9	0.26

En la Tabla 23 y en la Figura 40 se observan la media y la mediana del número de incidentes + el número de accidentes antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga (SGF).

Figura 37. *Media y Mediana Antes y Después del SGF*



Nota. En la figura: (I+A) 2023 = Número de Incidentes + Número de Accidentes antes de la implementación del SGF, (I+A) 2024 = Número de Incidentes + Número de Accidentes después de la implementación del SGF.

Figura 38. *Gráfico de Barras Antes y Después del SGF*

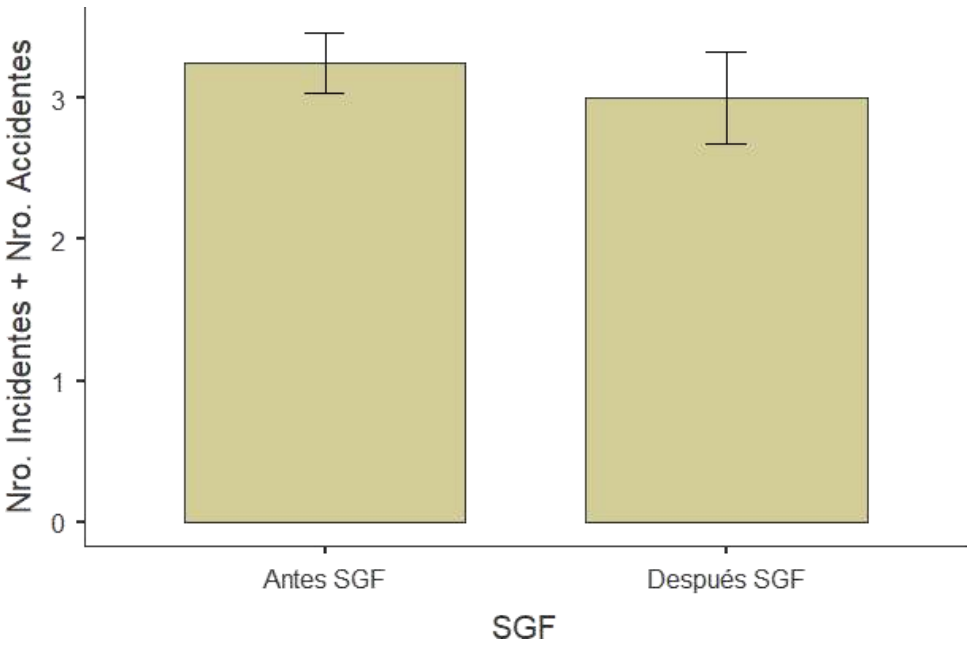
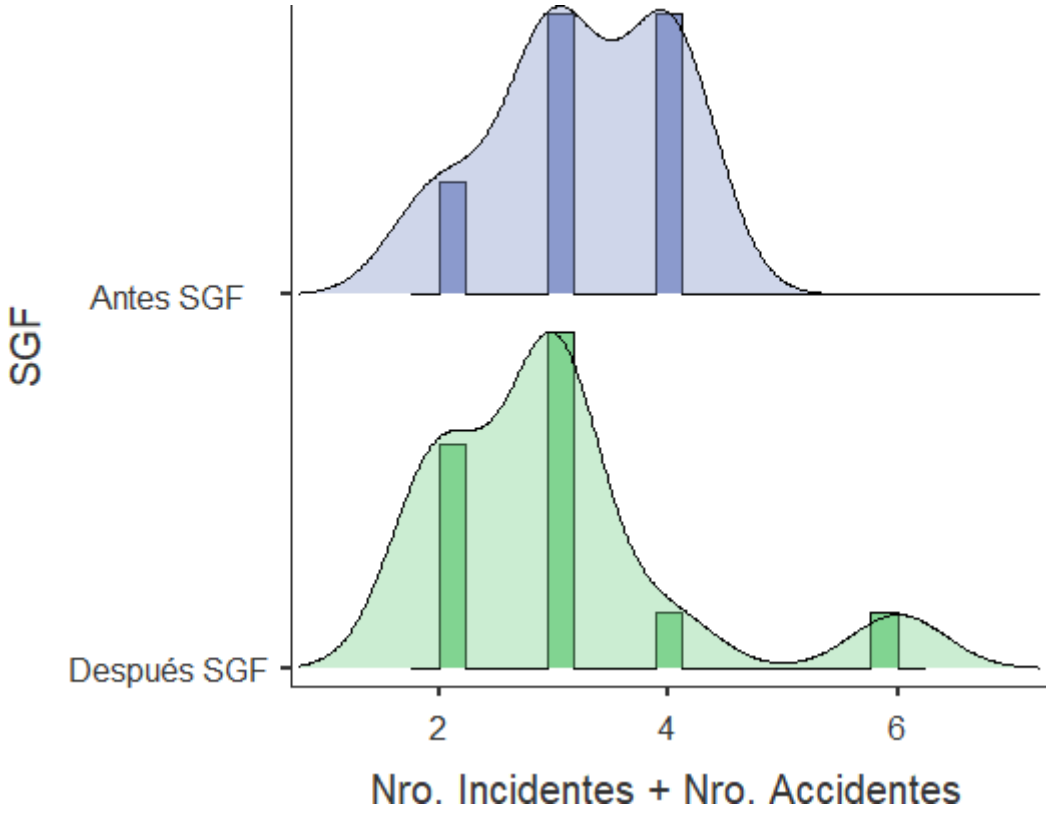


Figura 39. *Histograma Antes y Después del SGF*



En la figura se observa que el número de incidentes + el número de accidentes antes de la implementación del SGF es más bajo en comparación con el número de incidentes + el número de accidentes después de la implementación del SGF. El promedio del número de incidentes y accidentes con proyecto es 2.983 y el promedio del número de incidentes sin proyecto es de 2.083.

Conclusión:

Finalmente, por demostración de la comparación de las medias que es ≠ 0 existen diferencias significativas entre el número de incidentes y accidentes del sistema de Gestión de la Fatiga antes y después de la implementación del proyecto, por lo que se demuestra que la aplicación del SGF influye en la reducción de accidentes en los operadores de equipos en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco.

4.3.2. Hipótesis específicas

Primera Hipótesis Específica

La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga reduce el número de incidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco. Ver los datos de la Tabla 24.

Tabla 24. *Número de Incidentes del SGF*

Id	Fecha	Sistema de Gestión de la Fatiga (SGF)	Nro. Incidentes
1	ene-23	1	3
2	feb-23	1	3
3	mar-23	1	4
4	abr-23	1	3
5	may-23	1	3
6	jun-23	1	3
7	jul-23	1	4
8	ago-23	1	3
9	sep-23	1	3
10	oct-23	1	2
11	nov-23	1	3
12	dic-23	1	1
13	ene-24	2	2
14	feb-24	2	2
15	mar-24	2	3
16	abr-24	2	2
17	may-24	2	2
18	jun-24	2	2
19	jul-24	2	3
20	ago-24	2	2
21	sep-24	2	2
22	oct-24	2	1
23	nov-24	2	2
24	dic-24	2	0

Nota. Las variables indican lo siguiente: SGF=Sistema de Gestión de la Fatiga, 1 = Antes de la implementación del SGF, 2 = Después de la implementación del SGF.

1) Prueba de Normalidad

Para lo cual tenemos:

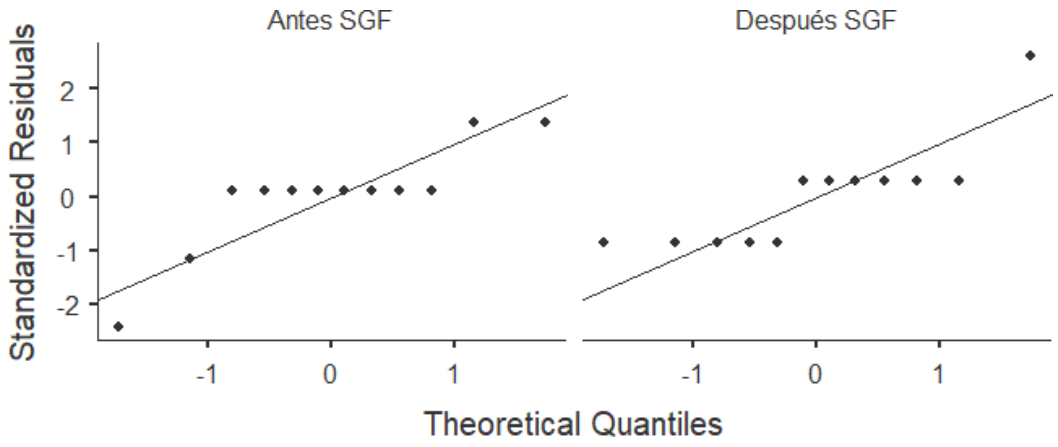
H_0: Los datos tienen tendencia a una curva normal. H_1: Los datos no tienen tendencia a una curva normal. El resumen de la prueba se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25. *Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk*

				Shapiro-Wilk	
	SGF	**Mean**	**SD**	**W**	**p**
Nro. Incidentes	Antes SGF	2.917	0.793	0.77	0.004
	Después SGF	2.75	0.866	0.734	0.002

Como $p<0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_0), por lo que la distribución de los datos no sigue la tendencia de una curva normal. Ver la Figura 43.

Figura 40. *Q-Q plot del Número de Incidentes*



Nota. En la Figura 43 la línea recta representa la curva normal y los puntos representan los residuales, además se observa que los puntos no siguen la tendencia de la curva normal.

2) Comparación de Grupos Relacionados

Para lo cual calculamos el pvalor para la prueba de Wilcoxon para una prueba paramétrica, así como también el tamaño del efecto de Cohen´s d, con los siguientes datos:

H0: La diferencia de las medias = 0. H1: La diferencia de las ≠ 0.

Usando el programa estadístico, tenemos:

Tabla 26. *Prueba de Wilcoxon*

			Statistic	p	Effect Size
Nro. Incidentes 2023	Nro. Incidentes 2024	Wilcoxon W	78	< .001	1

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

De la Tabla 26, tenemos que el valor de $p < 0.05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H0), demostrándose la existencia de diferencias significativas entre el índice de frecuencia del Sistema de Gestión de la Fatiga antes y después de su implementación.

Para evaluar el tamaño del efecto, tenemos los coeficientes y la interpretación de los criterios de d de Cohen que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 27. *Criterios para la d de Cohen*

Coeficiente	Interpretación
Menor a 0.20	Nulo o Trivial
Entre 0.20 y 0.50	Pequeño
Entre 0.50 y 0.80	Mediano
Mayor a 0.80	Grande

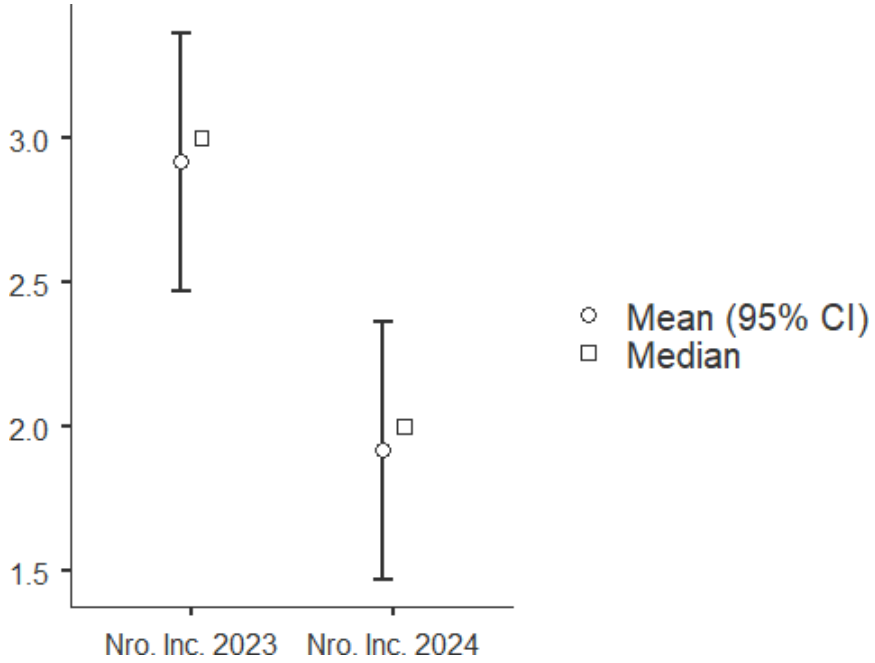
De los resultados obtenidos se concluye que el tamaño del efecto es grande. En la Tabla 28 se muestran los indicadores descriptivos de las variables.

Tabla 28. *Descriptivos de las Variables*

	N	**Mean**	**Median**	**SD**	**SE**
Nro. Incidentes 2023	12	2.917	3	0.793	0.229
Nro. Incidentes 2024	12	1.917	2	0.793	0.229

En la Tabla 28 y la Figura 44 se observan la media y la mediana del número de incidentes del SGF antes y después de su implementación.

Figura 41. *Media y Mediana del Número de Incidentes*



Nota. En la figura se observa la media y la mediana del número de incidentes de los años 2023 y 2024.

Conclusión:

Finalmente, haciendo la comparación de medias se demuestra que este valor es ≠ 0 existiendo diferencias significativas entre el número de incidentes de los años 2023 y 2024, por lo que se concluye que la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga influye en la prevención y reducción de los accidentes en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco. Ver la Figura 45 y la Figura 46.

Figura 42. *Diagrama de Barras del Número de Incidentes*

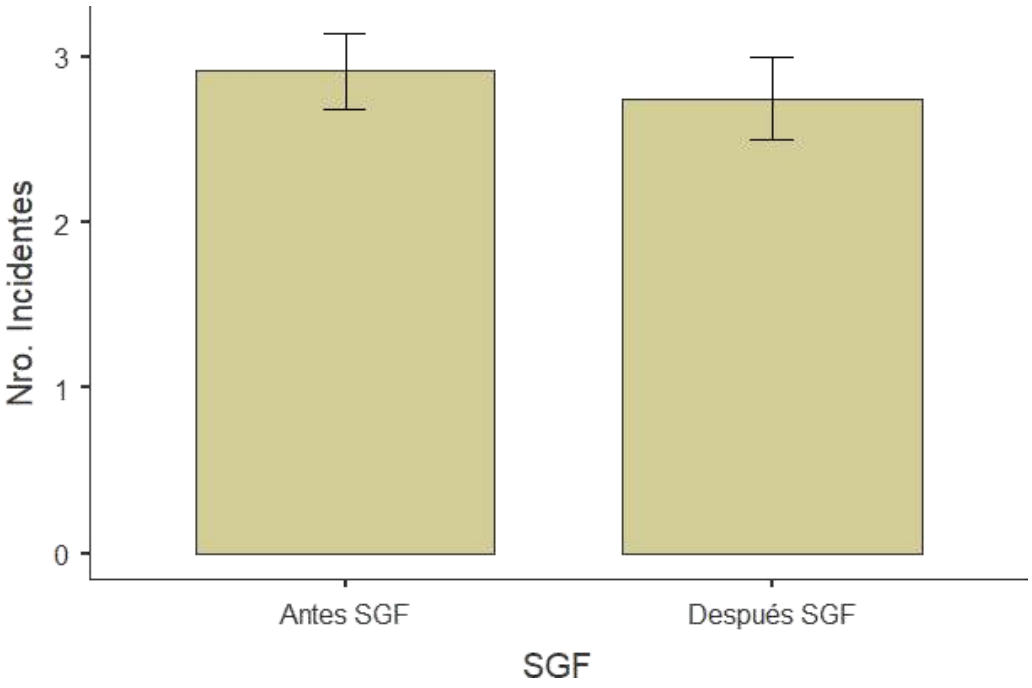
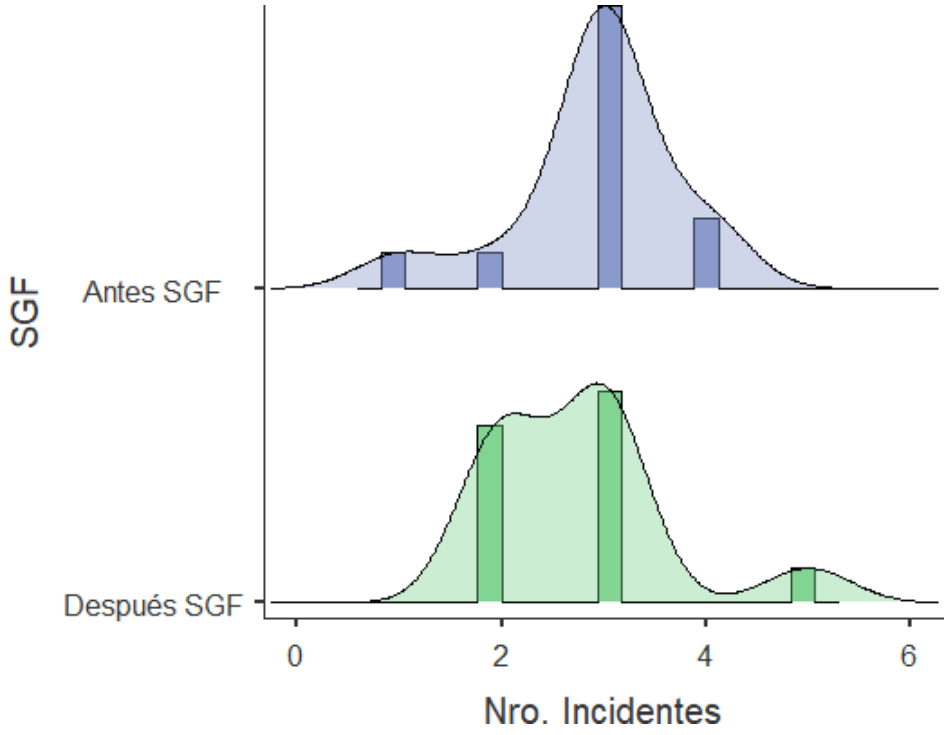


Figura 43. *Histograma del Número de Incidentes*



Segunda Hipótesis Específica

La segunda hipótesis de la tesis es el siguiente:

La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga reduce el número de accidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco.

Ver los datos en la Tabla 29.

Tabla 29. *Número de Accidentes del SGF*

Id	Fecha	Sistema de Gestión de la Fatiga (SGF)	Nro. Accidentes
1	ene-23	1	2
2	feb-23	1	1
3	mar-23	1	1
4	abr-23	1	0
5	may-23	1	1
6	jun-23	1	1
7	jul-23	1	0
8	ago-23	1	0
9	sep-23	1	1
10	oct-23	1	0
11	nov-23	1	1
12	dic-23	1	1
13	ene-24	2	1
14	feb-24	2	0
15	mar-24	2	0
16	abr-24	2	0
17	may-24	2	0
18	jun-24	2	1
19	jul-24	2	0
20	ago-24	2	0
21	sep-24	2	0
22	oct-24	2	0
23	nov-24	2	0
24	dic-24	2	0

Nota. Las variables indican lo siguiente: SGF=Sistema de Gestión de la Fatiga, 1 = Antes de la implementación del SGF, 2 = Después de la implementación del SGF.

1) Prueba de Normalidad

Sea:

H_0: Los datos tienen tendencia a una curva normal. H_1: Los datos no tienen tendencia a una curva normal.

El resumen de la prueba se muestra en la Tabla 30.

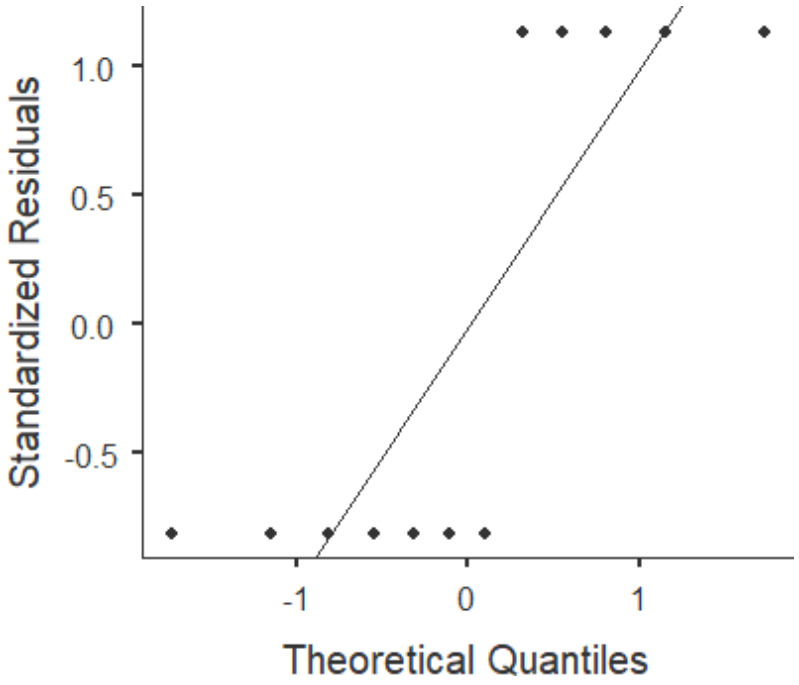
Tabla 30. *Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)*

			W	p
Nro. de accidentes antes del SGF (2023)	-	Nro. de accidentes despues del SGF (2024)	0.64	< .001

Note. A low p-value suggests a violation of the assumption of normality.

Como p < 0.05, no se acepta la hipótesis nula (H0), por lo que la distribución de los datos no sigue la tendencia de una curva normal.

Figura 44. *Q-Q plot del Índice de Severidad del Número de Accidentes*



En la Figura 47 la línea recta representa la curva normal y los puntos representan los residuales, además se observa que los puntos no siguen la tendencia de la curva normal.

2) Comparación de Grupos Relacionados

Para lo cual calculamos el p_{valor} para el t de Student para una prueba paramétrica, así como también el tamaño del efecto de *Cohen´s d*, con los siguientes datos:

H0: La diferencia de las medias = 0.

H1: La diferencia de las ≠ 0.

Usando el programa estadístico, tenemos:

Tabla 31. *Prueba de Wilcoxon*

Statistic	**p**	**Effect Size**				
Nro. de accidentes antes del SGF (2023)	Nro. de accidentes después del SGF (2024)	Wilcoxon W	28	0.011	Rank biserial correlation	1

Note. H_a μ Measure 1 - Measure 2 ≠ 0 a 5 pair(s) of values were tied

De la Tabla 31 tenemos el valor de p= 0.011, como p < 0.05 se rechaza la hipótesis nula (H0), por lo que se demuestra la existencia de diferencias significativas entre el número de accidentes antes y después del Sistema de Gestión de la Fatiga.

Para evaluar el tamaño del efecto, tenemos los coeficientes y la interpretación de los criterios de d de Cohen que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 32. *Criterios para la d de Cohen*

Coeficiente	**Interpretación**
Menor a 0.20	Nulo o Trivial
Entre 0.20 y 0.50	Pequeño
Coeficiente	**Interpretación**
Entre 0.50 y 0.80	Mediano
Mayor a 0.80	Grande

Por lo resultados obtenidos con tamaño de efecto de 1 se concluye según la Tabla 32 que el tamaño del efecto es grande.

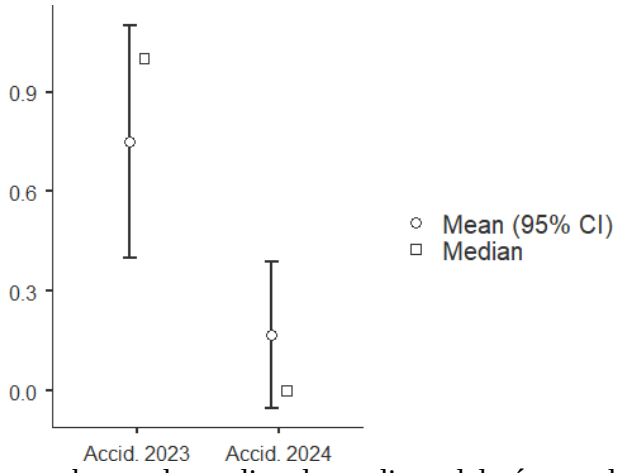
En la Tabla 33 se muestran los indicadores descriptivos de las variables.

Tabla 33. *Descriptivo de las Variables*

	Sistema de Gestión de la Fatiga (SGF)	N	Mean	Median	SD
Número de accidentes	Antes del SGF	12	0.333	0	0.492
	Después del SGF	12	0.25	0	0.452

En la Tabla 33 y la Figura 48 se observan la media y la mediana del número de accidentes del Sistema de Gestión de la fatiga antes de la implementación y luego de la implementación del SGF.

Figura 45. *Media y Mediana del Número de Accidentes*



Nota. En la figura se observa la media y la mediana del número de accidentes antes de la implementación del SGF (2023) y después de la implementación del SGF (2024).

Conclusión:

Finalmente, haciendo la comparación de medias se demuestra que este valor de las variables es ≠ 0 existiendo diferencias significativas entre el número de accidentes antes de la implementación del SGF (2023) y el número de accidentes después de la implementación del SGF, por lo que se concluye que la aplicación del Sistema de Gestión de la Fatiga influye en la prevención y reducción del número de accidentes en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad de Cerro

de Pasco a cargo de la Empresa Contratista RESEFER Mining & Construction S.A. Ver la Figura 49 y la Figura 50.

Figura 46. *Diagrama de Barras del Número de Accidentes*

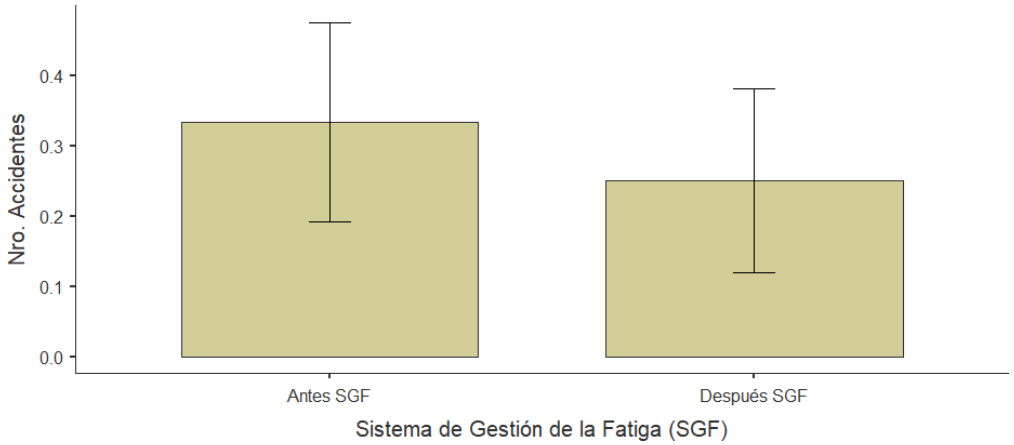
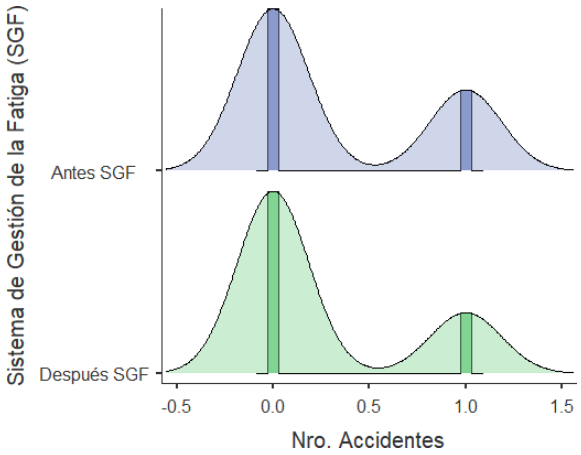


Figura 47. *Histograma y Densidad del Número de Accidentes*



4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman que la implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga tiene un efecto positivo en la prevención de incidentes en operadores de equipos, especialmente en actividades de alto riesgo como la rehabilitación de rampas en minería subterránea.

Estos hallazgos son consistentes con lo señalado por (Hernández et al., 2014), quién indica que las investigaciones de nivel explicativo permiten identificar relaciones de causa–efecto entre variables, en este caso, entre la gestión de la fatiga y la reducción de incidentes operativos. La disminución observada en la frecuencia y severidad de

incidentes respalda la hipótesis de que la fatiga constituye un factor causal relevante en los eventos no deseados asociados al error humano.

Del mismo modo, los resultados coinciden con lo expuesto por Tamayo (2007), quién sostiene que la aplicación de medidas preventivas basadas en el análisis de riesgos humanos contribuye significativamente a la mejora de las condiciones de seguridad laboral. La reducción de incidentes observada después de la implementación del SGF evidencia que el control sistemático de la fatiga mejora el desempeño operativo y la toma de decisiones de los operadores.

Asimismo, los resultados se alinean con estudios previos desarrollados en el sector minero, los cuales señalan que la fatiga y la somnolencia incrementan la probabilidad de errores operativos y accidentes, especialmente en turnos prolongados y condiciones laborales exigentes. La presente investigación refuerza la importancia de integrar la gestión de la fatiga como parte del sistema de seguridad y salud ocupacional en operaciones mineras.

En términos generales, la discusión de los resultados permite afirmar que la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga no solo contribuyó a la reducción de incidentes, sino que también fortaleció la cultura de seguridad, promoviendo una mayor participación de los operadores en la identificación y control de riesgos asociados al factor humano.

En la Tabla 34 se detalla la discusión de resultados comparando los resultados obtenidos por algunos autores y el presente estudio.

Tabla 34. *Discusión de Resultados*

Investigación	Autor (es)	Mina	Variable	Resultados
Implementación de un sistema de gestión de fatiga para reducir los índices de accidentabilidad en operadores contratistas de equipo pesado minero	Gonzales Horna, Cynthia Delfina y Leandro Ramírez, Gabrieka	Operación minera peruana (no especificada – contratistas de equipo pesado)	Sistema de Gestión de Fatiga	La implementación del sistema redujo en 55 % los incidentes relacionados con fatiga. Los índices TRIFR, FAI, HPI y PDI disminuyeron significativamente del 2022 al 2023. Se evidenció un beneficio económico de S/ 2.24 por cada sol invertido.
Influencia de un sistema de control de fatiga para reducir eventos de somnolencia en operadores de camiones de minería superficial	Castillo Medina, Angeles Nicol	Mina superficial en el sur del Perú	Sistema de Control de Fatiga	Se obtuvo una correlación negativa fuerte ($\rho = -0.754$) entre el sistema de control de fatiga y los eventos de somnolencia. Se demostró que el sistema reduce significativamente los eventos, especialmente en turnos críticos.
Implementación de sistemas tecnológicos antifatiga en operaciones mineras	Arca Torrejon, Giancarlo Luis Copacondori Avendaño Robert Edward Sanabria Mercado Alfonso Fabian	Operaciones mineras peruanas	Sistemas antifatiga tecnológicos	Los sistemas antifatiga permiten detección temprana de microsueños y distracciones, mejorando la toma de decisiones operativas y reduciendo el riesgo
Investigación	**Autor (es)**	**Mina**	**Variable**	**Resultados**

	Torres Aranibar Erika Alicia			de incidentes asociados al factor humano.
Gestión del descanso y su impacto en la fatiga laboral en minería	Mejía Quiroz, Edwin Adrian	Mina subterránea peruana	Fatiga laboral	Se identificó que la mala calidad del descanso y turnos prolongados incrementan la fatiga acumulada y el riesgo de incidentes, recomendando la implementación de sistemas formales de gestión del descanso.
Implementación de un Sistema de Gestión de Fatiga para prevenir incidentes en operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pascom 2023-2024	Rajo Barja Donny Denis Llanqui Ramos Erick Christofer	Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco	Sistema de Gestión de la Fatiga	Turnos prolongados de 12 horas por guardia y régimen de trabajo 14x7. La fatiga y somnolencia son variables críticas en minería. Con la aplicación del SGF el número de incidentes se reduce en 5.7% y el número de accidentes se reduce en 24.9%.

CONCLUSIONES

1. La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga permitió reducir la ocurrencia de incidentes en operadores de equipos durante la rehabilitación de la Rampa Esperanza, evidenciando que la fatiga laboral constituye un factor determinante en la generación de eventos no deseados en operaciones mineras subterráneas. El número de incidentes se reduce en 34.28 % con 35 incidentes en el 2023 y 23 incidente en el 2024.
2. La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga permitió reducir la ocurrencia de accidentes en operadores de equipos durante la rehabilitación de la Rampa Esperanza, evidenciando que la fatiga laboral constituye un factor importante en operaciones mineras subterráneas. El número de accidentes se reduce en 22.22 % con 9 accidentes en el 2023 y 2 accidente en el 2024.
3. Se comprobó que una gestión adecuada de los turnos de trabajo, pausas operativas y tiempos de descanso contribuye significativamente a mejorar el estado de alerta de los operadores, disminuyendo los errores operativos asociados a la somnolencia y al cansancio acumulado.
4. Los resultados obtenidos antes y después de la implementación del sistema demostraron que el control sistemático de la fatiga influye positivamente en la seguridad operativa, confirmando la relación causal entre la variable independiente (Sistema de Gestión de la Fatiga) y la variable dependiente (incidentes en operadores de equipos).
5. La aplicación de capacitaciones y actividades de sensibilización fortaleció la cultura preventiva de los operadores, incrementando su conocimiento sobre los riesgos asociados a la fatiga laboral y promoviendo conductas seguras durante la operación de equipos.
6. El análisis documental y los registros de seguridad evidenciaron una disminución en la frecuencia y severidad de los incidentes, especialmente en los turnos prolongados y en las horas finales de la jornada, donde previamente se concentraba un mayor número de eventos.

7. Se concluye que la gestión de la fatiga debe ser considerada como un componente esencial del sistema de seguridad y salud ocupacional, especialmente en actividades de alto riesgo como la rehabilitación de rampas en minería subterránea.
8. Finalmente, la investigación demuestra que la implementación del Sistema de Gestión de la Fatiga en la Empresa Minera Volcan – Unidad Cerro de Pasco constituye una herramienta preventiva eficaz, capaz de mejorar las condiciones de trabajo, reducir incidentes y contribuir a la sostenibilidad de las operaciones mineras.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Empresa Minera Volcan – Unidad Cerro de Pasco institucionalizar el Sistema de Gestión de la Fatiga como parte integrante del Sistema de Seguridad y Salud Ocupacional, asegurando su aplicación permanente en todas las etapas de la rehabilitación y operación de labores subterráneas, así como invertir en equipos de última tecnología en el control de la fatiga y somnolencia del trabajador,
2. Es recomendable optimizar la planificación de turnos de trabajo, priorizando una adecuada distribución de las jornadas laborales, el respecto de los tiempos de descanso y la rotación de tareas, con el fin de prevenir la acumulación de fatiga física y mental en los operadores de equipos. Asimismo, los operadores de los equipos pesados deben tener lugares apropiados de descanso, ya que al estar junto con sus familiares en la ciudad de Cerro de Pasco el trabajador no tiene un descanso apropiado.
3. Se sugiere implementar programas continuos de capacitación y sensibilización dirigidos a operadores, supervisores y personal de seguridad, orientados a fortalecer el reconocimiento temprano de la fatiga, la somnolencia y sus efectos en la seguridad operacional.
4. Se recomienda fortalecer el monitoreo sistemático de la fatiga, mediante la aplicación periódica de listas de verificación y el análisis de reportes operativos, permitiendo identificar oportunamente condiciones de riesgo asociadas al factor humano.
5. Es aconsejable integrar la gestión de la fatiga en la identificación de peligros y evaluación de riesgos (IPERC), considerándola como un riesgo crítico en actividades de alto peligro, como la rehabilitación de rampas y la operación de equipos en minería subterránea.
6. Se recomienda a la supervisión operativa reforzar el control en las horas finales de los turnos, especialmente en jornadas prolongadas y nocturnas, debido a que en estos periodos se incrementa la probabilidad de incidentes asociados a la fatiga.
7. Para futuras investigaciones, se sugiere ampliar el alcance del estudio incorporando

herramientas tecnológicas de monitoreo de fatiga, así como analizar el impacto del Sistema de Gestión de la Fatiga en otros indicadores, como la productividad y la eficiencia operativa.

8. Finalmente, se recomienda promover una cultura organizacional orientada al autocuidado y la prevención, fomentando la participación activa de los operadores en la identificación y control de los riesgos asociados a la fatiga laboral.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apoyo y Asociados. (2025). Volcan Compañía Minera S . A . A . *Apoyo y Asociados*, 1–9.

Arca, G. L., Copacondori, R. E., Sanabria, A. F., & Torres, E. A. (2025). *La fatiga asociada a los turnos de trabajo y su impacto en la accidentabilidad y productividad en minería superficial Trabajo*. Escuela de Posgrado GERENS.

Beltran, I. (2022). *Aspectos técnicos de la pequeña minería*. Alianza por la Minería Responsable.

Bernal, C. (2016). *Metodología de la Investigación* (PEARSON (ed.); Cuarta edi). Cabos, R. (2005). *POTENCIAL MINERO EN LA REGIÓN PASCO*.

Calderon, R. A. (2024). *Gestión de la fatiga y somnolencia en operadores de equipos de acarreo para la prevención de accidentes en la U.M. Constancia* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. https://hdl.handle.net/20.500.12773/18924

Campos, E. (2022). *Diseño de rampas en minería subterránea*.

Castañeda, C. A. (2026). *Gestión de seguridad y salud ocupacional de procesos de remediación de pasivos ambientales en una mina subterránea en el sur del Perú , aplicando una matriz valorativa* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/673784/Castañeda_FC . pdf?sequence=1&isAllowed=y

Castillo, A. N. (2024). *Influencia de un sistema de control de fatiga para reducir eventos de somnolencia en operadores de camiones de minería superficial*.

Cotrina, J. L. (2024). *Memoria anual 2024*. www.volcan.com.pe

DS. Nº 024-2016-EM. (2016). Aprueban Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Decreto Supremo Nº 024-2016-EM. *El Peruano*, 595392–595447. www.minedu.gob.pe%7C

Fedele, M. M. (2024). *Sistema de gestión del riesgo de fatiga*. 14–21.https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/259927/CONICET_Digital_Nro.a2873b 79-02b3-4a0e-b7c5-4b4777ecb474_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Gallardo, P. D. P. (2024). *Relación De La Jornada Laboral Y Los Índices De Frecuencia De Accidentes Laborales En Un Centro Minero Del Perú En Los Años 2019 Y 2020* [Universidad Peruana Cayetano Heredia]. https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/16503/Relacion_Gallardo Saldana_Paola.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gonzales, C. D., & Leandro, G. (2024). *Implementación de un sistema de gestión de fatiga para reducir los índices de accidentabilidad en operadores contratistas de equipo pesado minero.*

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

Horberry, T. J., Harris, J., Way, K., Hill, A., Lim, N., Dodshon, P., Lee, J., & Cliff, D. (2023). Fatigue Management in the Queensland Mining Industry and its relationship with Mental Health. *Queensland Government Publication. Downloaded*, *30*(03), 2023.

Keränen, J. S., Ahmad, J., Leggieri, S., Mäkelä, S., Caldwell, D. G., Natali, C. Di, Kinnula, A., & Siirtola, P. (2025). *Machine-Learning-Based Fatigue Trend Analysis on IMU Wearable Sensor Data from Construction Site Workers*. 1–13.

Latief, A., & Arpin. (2025). *Work Fatigue In The Mining Industry: A Literature Review Of Factors, Impacts, And Measurement Strategies*.

Maisey, G., Cattani, M., Devine, A., & Dunican, I. C. (2022). Fatigue risk management systems diagnostic tool: validation of an organizational assessment tool for shift work organizations. *Safety and Health at Work*, *13*(4), 408–414.

Manrique, H., & Sanborn, C. (2021). *La minería en el Perú : balance y perspectivas de cinco décadas de investigación* (1ra. edici). Universidad del Pacífico. https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/LIB-329.pdf

Marcelo, S. M. (2024). *Evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes del proyecto óxidos in situ de Volcan Compañía Minera S.A.A., 2023*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Milošević, I., Stojanović, A., Nikolić, Đ., Mihajlović, I., Brkić, A., Perišić, M., & Spasojević-Brkić, V. (2025). Occupational health and safety performance in a changing mining environment: Identification of critical factors. *Safety Science*, *184*. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106745

Mokwena, O. S., & Shirinde, J. (2025). *Occupational Ergonomic Risks Among Women in Underground Coal Mining , South Africa*. 1–13.

Mouton, A., & Goedhals-gerber, L. L. (2025). *Operational Management of Truck Driver Fatigue : A Systematic Review*. 1–37.

Muñoz, R. I. (2019). *Influencia Del Sostenimiento Mecanizado Con Pernos De Anclaje En La Mejora De La Productividad De La U.E.A. Cerro S.A.C. - 2016*. Universidad Alas Peruanas.

Osinergmin. (2024). Compendio Ilustrativo de Accidentes Mortales en Minería. *Osinergmin*. https://rendiciondecuentas.osinergmin.gob.pe/Archivos/2024/Osinergmin-DRC-MI-compendio-accidentes-2024.pdf?utm_source=chatgpt.com

Pallete, A. (2024). Seguridad en carguío y acarreo en mineria a cielo abierto. *Instituto de Seguridad Minera*, 1–62.

Rg, B. A. (2019). Seguridad y salud en el centro del futuro del trabajo.

Rodriguez Mejía, R., Cueva Tintaya, E., & Carlotto Caillaux, V. (2011). Geología del Cuadrángulo de Cerro de Pasco, hoja 22-k. *Ingemmet*.

Rodriguez, R. (2003). Memoria Descriptiva De La Revisión Y Actualización Del Cuadrángulo De Cerro De Pasco (22-k). *Ingemmet*.

Rodriguez, R. O., Villarreal, E., & Huachaca, C. (2020). *Controles Estructurales N-S En La Cordillera Occidental Como Guia Para Nuevos Targets De Exploracion Regional*. S.A.A., V. C. M. (2023). *Memoria Anual 2024*.

Salas, P. (2021). *Procedimiento De Fatiga Y Somnolencia*. 1–17. https://www.cmp.cl/wp-content/uploads/2024/08/Procedimiento-de-Fatiga-y-Somnolencia.-Ver-01.pdf

Soyer, V., & Fernando, L. (2023). *Reporte de Sostenibilidad*.

Talebi, E., & Rogers, W. P. (2022). *Environmental and Work Factors That Drive Fatigue of Individual Haul Truck Drivers*. 542–565.

Tamayo, M. (2007). Metodología de la Investigación. *México: Limusa*.

Vila, F. (2020). *Cerro De Pasco And The Development Paradox : Imagining A Transition To Post-Extractivism For A Territory Dependant On Extractivism*. 55–83.

Zarate, Y. N. (2023). *Alteración litológica en sitios contaminados con metales pesados y su efecto en la salud del poblador de la ciudad de Cerro de Pasco*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

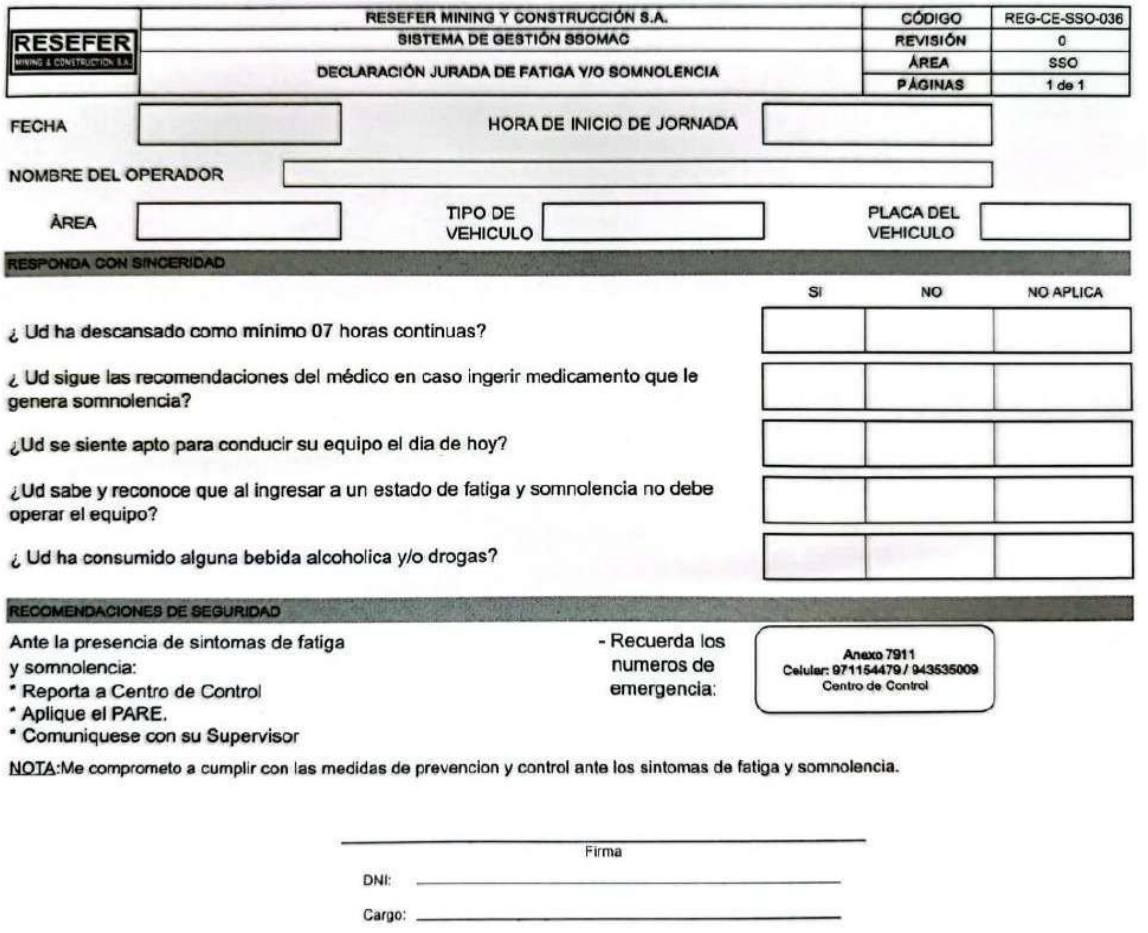
ANEXOS

Anexo 1. Instrumentos de Recolección de Datos

Mano de Obra

PERSONAL	MANO DE OBRA	CANTIDAD
SUPERVISIÓN	Ing. Seguridad	3
	supervisión	3
ALMACEN	Bodeguero	2
CIMBREROS	Maestro Mina	3
	Ayudante Mina	6
	Soldador	3
OPERADORES	Operadores de Empernador	3
	Ayudante Jumbo Empernador Bolter	3
	Operadores de Scooptram	3
	Operador de Telehandler/Manitou	3
	Operador de scaler	3
	Conductor de camión	3
	Operador de Cable TEC	3

Declaración Jurada de Fatiga y/o Somnolencia



RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A.	RESEFER MINING Y CONSTRUCCIÓN S.A.	CÓDIGO	REG-CE-SSO-036
	SISTEMA DE GESTIÓN SSOMAC	REVISIÓN	0
	DECLARACIÓN JURADA DE FATIGA Y/O SOMNOLENCIA	ÁREA	SSO
		PÁGINAS	1 de 1

FECHA | HORA DE INICIO DE JORNADA

NOMBRE DEL OPERADOR

ÁREA | TIPO DE VEHICULO | PLACA DEL VEHICULO

RESPONDA CON SINCERIDAD

	SI	NO	NO APLICA
¿ Ud ha descansado como minimo 07 horas continuas?			
¿ Ud sigue las recomendaciones del médico en caso ingerir medicamento que le genera somnolencia?			
¿Ud se siente apto para conducir su equipo el dia de hoy?			
¿Ud sabe y reconoce que al ingresar a un estado de fatiga y somnolencia no debe operar el equipo?			
¿ Ud ha consumido alguna bebida alcoholica y/o drogas?			

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

Ante la presencia de sintomas de fatiga y somnolencia:
* Reporta a Centro de Control
* Aplique el PARE.
* Comuniquese con su Supervisor

- Recuerda los numeros de emergencia:

Anexo 7911
Celular: 971154479 / 943535009
Centro de Control

NOTA:Me comprometo a cumplir con las medidas de prevencion y control ante los sintomas de fatiga y somnolencia.

Firma

DNI:

Cargo:

Número de Incidentes y Accidentes en la UM Cerro de Pasco

Id	Fecha	Sistema de Gestión de la Fatiga	Nro. Incidentes + Nro. Accidentes
1	ene-23	1	3
2	feb-23	1	4
3	mar-23	1	4
4	abr-23	1	3
5	may-23	1	4
6	jun-23	1	3
7	jul-23	1	4
8	ago-23	1	3
9	sep-23	1	4
10	oct-23	1	2
11	nov-23	1	3
12	dic-23	1	2
13	ene-24	2	4
Id	**Fecha**	**Sistema de Gestión de la Fatiga**	**Nro. Incidentes + Nro. Accidentes**
14	feb-24	2	2
15	mar-24	2	6
16	abr-24	2	3
17	may-24	2	3
18	jun-24	2	3
19	jul-24	2	3
20	ago-24	2	3
21	sep-24	2	2
22	oct-24	2	3
23	nov-24	2	2
24	dic-24	2	2

Nota. Las variables indican lo siguiente: SGF=Sistema de Gestión de la Fatiga, 1 = Antes de la implementación del SGF, 2 = Después de la implementación del SGF.

Número de Incidentes y Accidentes en la UM Cerro de Pasco

Id	Fecha	Sistema de Gestión de la Fatiga	Nro. Incidentes + Nro. Accidentes
1	ene-23	1	3
2	feb-23	1	4
3	mar-23	1	4
4	abr-23	1	3
5	may-23	1	4
6	jun-23	1	3
7	jul-23	1	4
8	ago-23	1	3
9	sep-23	1	4
10	oct-23	1	2
11	nov-23	1	3
12	dic-23	1	2
13	ene-24	2	4
Id	**Fecha**	**Sistema de Gestión de la Fatiga**	**Nro. Incidentes + Nro. Accidentes**
14	feb-24	2	2
15	mar-24	2	6
16	abr-24	2	3
17	may-24	2	3
18	jun-24	2	3
19	jul-24	2	3
20	ago-24	2	3
21	sep-24	2	2
22	oct-24	2	3
23	nov-24	2	2
24	dic-24	2	2

Nota. Las variables indican lo siguiente: SGF=Sistema de Gestión de la Fatiga, 1 = Antes de la implementación del SGF, 2 = Después de la implementación del SGF.

Número de Incidentes del SGF

Id	Fecha	Sistema de Gestión de la Fatiga (SGF)	Nro. Incidentes
1	ene-23	1	3
2	feb-23	1	3
3	mar-23	1	4
4	abr-23	1	3
5	may-23	1	3
6	jun-23	1	3
7	jul-23	1	4
8	ago-23	1	3
9	sep-23	1	3
10	oct-23	1	2
11	nov-23	1	3
12	dic-23	1	1
13	ene-24	2	2
14	feb-24	2	2
15	mar-24	2	3
16	abr-24	2	2
17	may-24	2	2
18	jun-24	2	2
19	jul-24	2	3
20	ago-24	2	2
21	sep-24	2	2
22	oct-24	2	1
23	nov-24	2	2
24	dic-24	2	0

Nota. Las variables indican lo siguiente: SGF=Sistema de Gestión de la Fatiga, 1 = Antes de la implementación del SGF, 2 = Después de la implementación del SGF.

Anexo 2. *Matriz de Consistencias*

Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga para Prevenir Incidentes en Operadores de Equipos en Minería Subterránea, 2023-2024

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Diseño Metodológico
General ¿De qué manera la implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga influye en la prevención de incidentes y accidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco?	**General** Implementar un Sistema de Gestión de la Fatiga para prevenir incidentes y accidentes en los operadores de equipos durante la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan S.A. Unidad Cerro de Pasco.	**General** La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga influye significativamente en la prevención de incidentes y accidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan S.A. Unidad Cerro de Pasco.	**Variable Independiente (X)** X = Sistema de Gestión de la Fatiga. X_1 = Cumplimiento (%). X_2 = Nivel de fatiga. X_3 = Nivel de sueño. X_4 = Probabilidad de identificar el riesgo (0-100%) X_5 = Diseño e implementación del sistema (0-100%)	**Variable Independiente (X)** Cumplimiento (%). X_{21} = Nivel de fatiga. X_{31} = Nivel de sueño. X_{41} = Probabilidad de identificar el riesgo (0-100%) X_{51} = Diseño e implementación del sistema (0-100%)	**Tipo de Investigación:** Investigación aplicada **Nivel de Investigación:** Explicativo. **Diseño de Investigación:** No experimental y Transaccional. **Diseño:** No experimental, transversal y correlacional. **Población y Muestra:** **Población**: Trabajadores de la rehabilitación de la rampa en la Compañía Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco (60). **Muestra**: Operadores de equipos mineros en la rehabilitación de la rampa de la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco (33).
Específico 1 ¿Cómo la implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga influye en la reducción de incidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la	**Específico 1** Determinar la influencia de la Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga en la reducción de incidentes en los operadores de	**Específica 1** La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga reduce el número de incidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la	**Variable Dependiente (Y)** Y = Incidentes en operadores de equipos. Y_1= Incidentes. Y_2= Accidentes.	**Variable Dependiente (Y)** Y_{11}= Número de incidentes. Y_{21}= Número de accidentes.	

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Diseño Metodológico
Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco?	equipos en la rehabilitación de la rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco.	Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco.			
Problema Específico 2 Determinar la influencia de la Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga en la reducción de accidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco.	**Objetivo Específico 2** Determinar la influencia de la Implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga en la reducción de accidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco.	**Hipótesis Específico 2** La implementación de un Sistema de Gestión de la Fatiga reduce el número de accidentes en los operadores de equipos en la rehabilitación de la Rampa Esperanza en la Empresa Minera Volcan Unidad Cerro de Pasco.			

Anexo 3. *Planos*

Figura 48. *Tajo Raul Rojas*

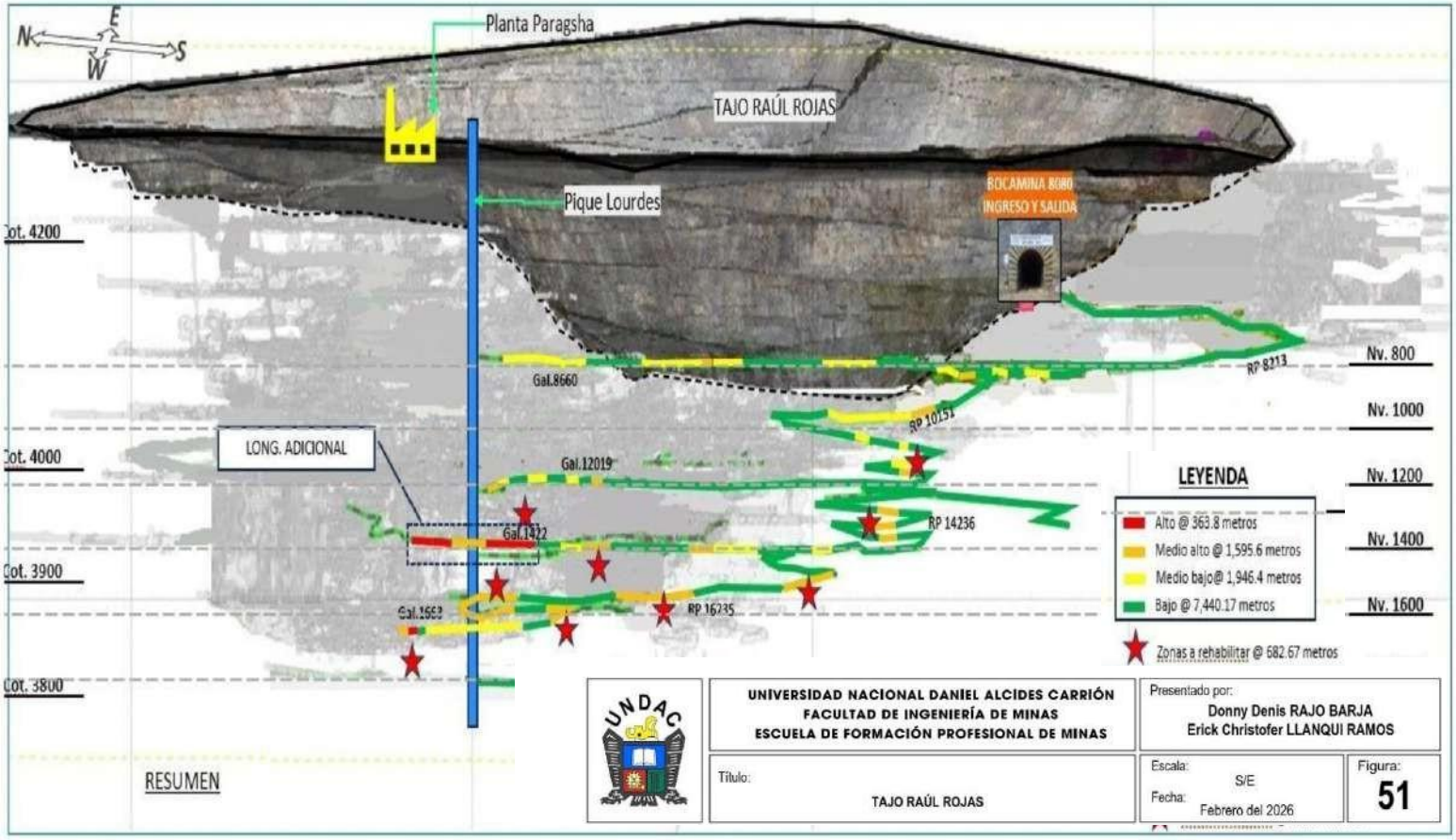
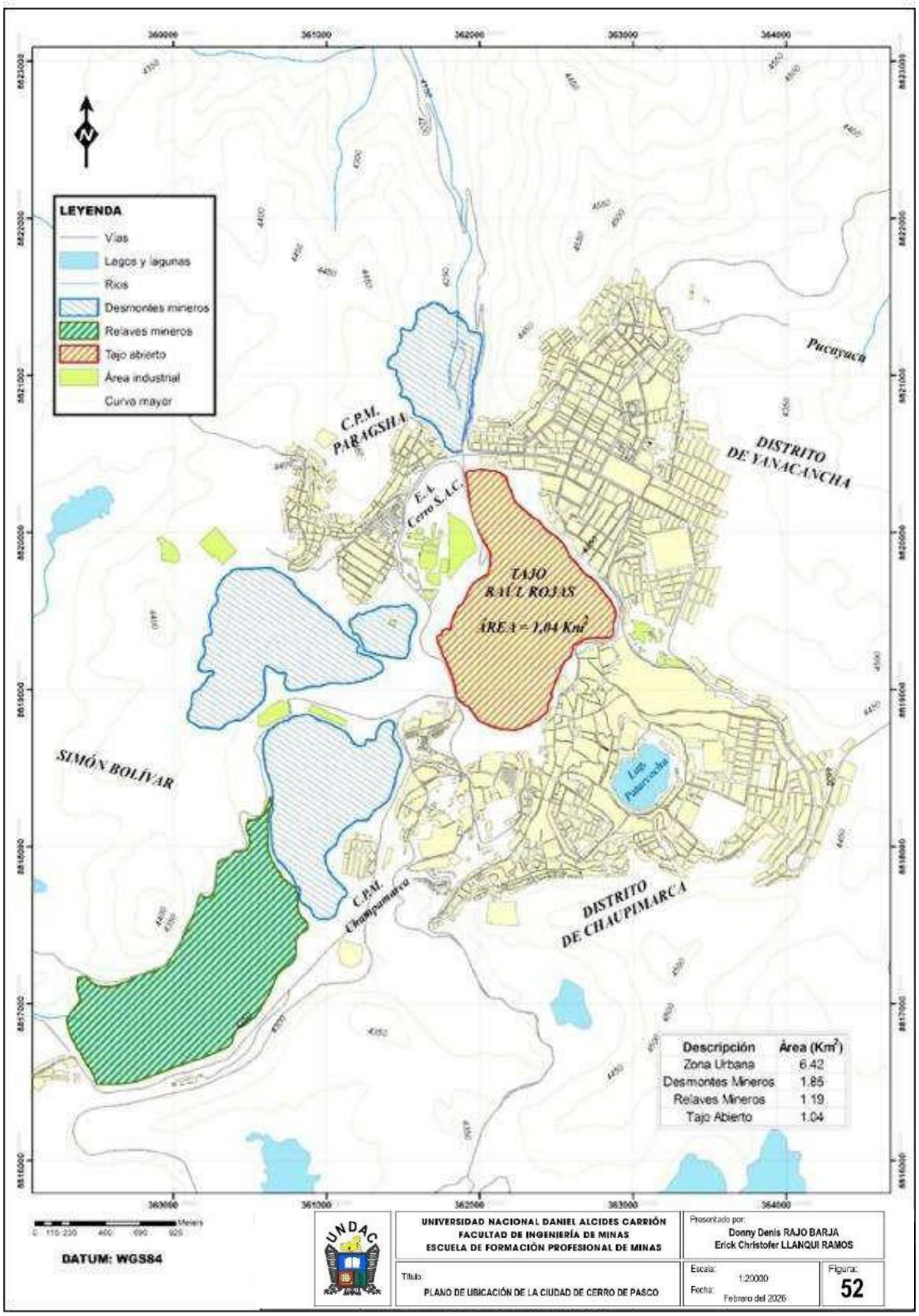


Figura 49. *Plano de Ubicación de la Ciudad de Cerro de Pasco*



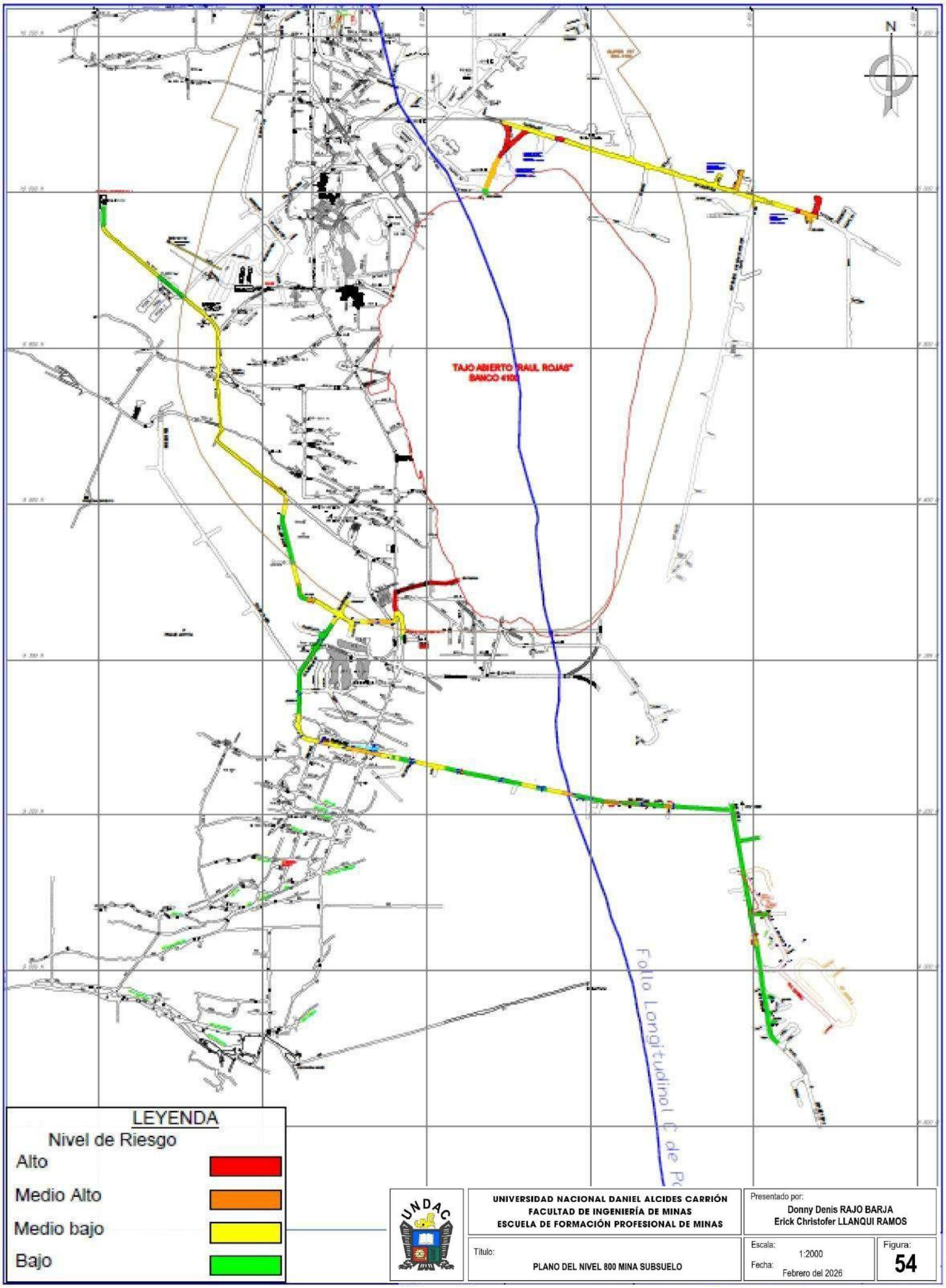
Nota. La figura de la Figura 52 ha sido obtenido de (Zarate, 2023).

Figura 50. *Plano del Nivel 800 Mina Subsuelo*



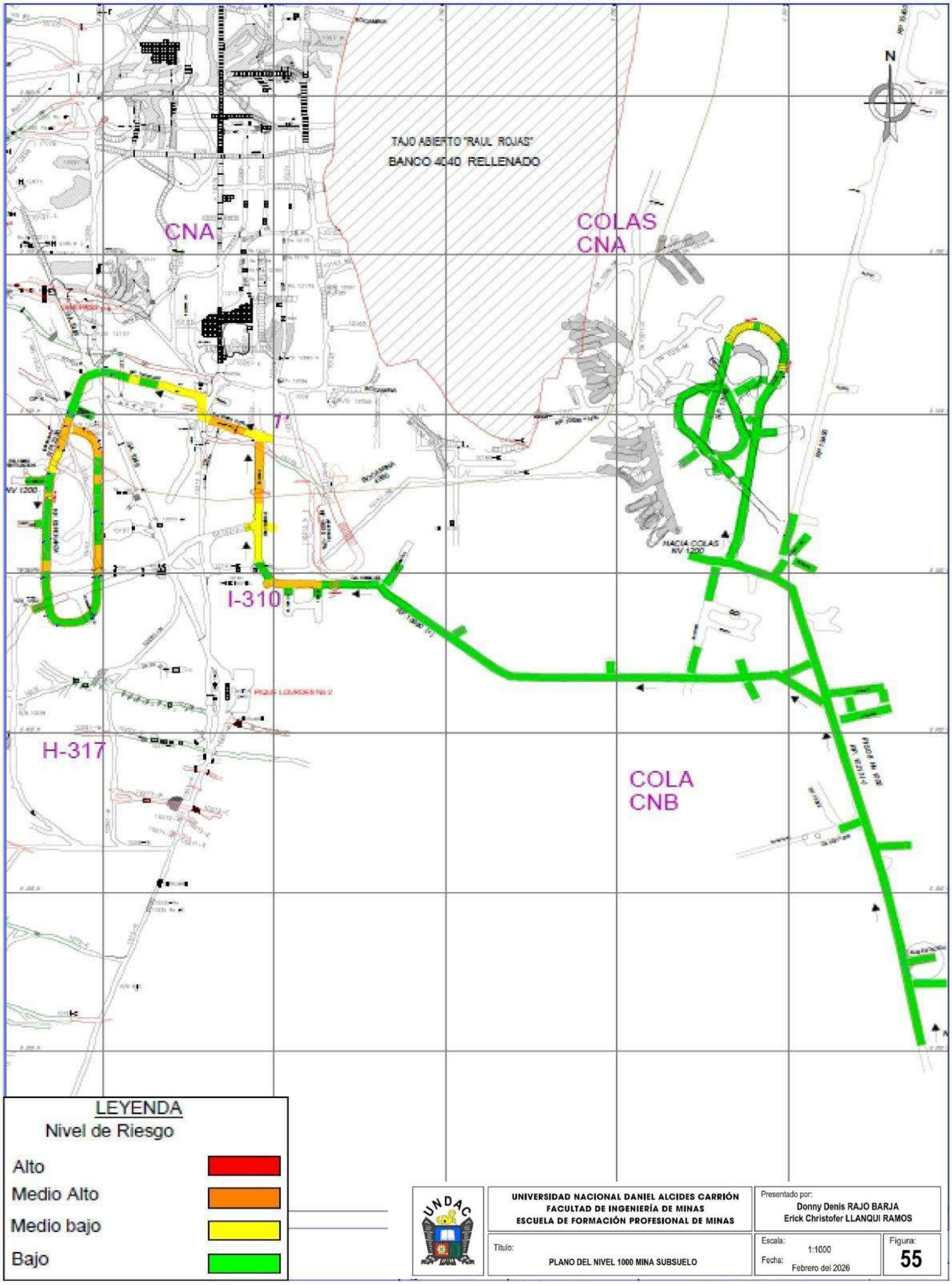
Nota. El plano de la Figura 53 ha sido extraido de Volcan Compañía Minera S.A.A. Unidad Cerro de Pasco.

Figura 51. *Plano del Nivel 800 Mina Subsuelo*



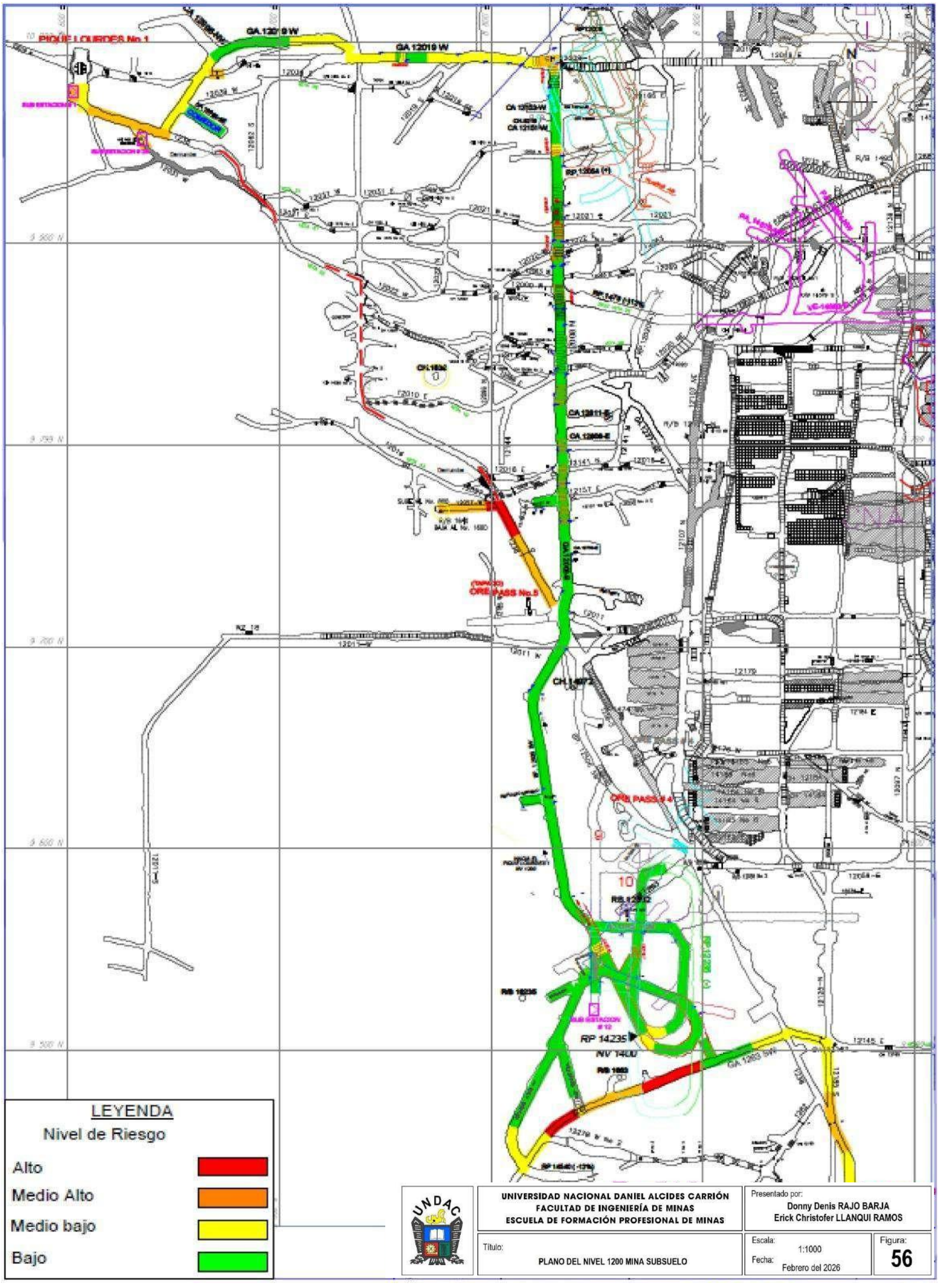
Nota. El plano de la Figura 54 ha sido extraido de Volcan Compañía Minera S.A.A. Unidad Cerro de Pasco.

Figura 52. *Plano del Nivel 1000 Mina Subsuelo*



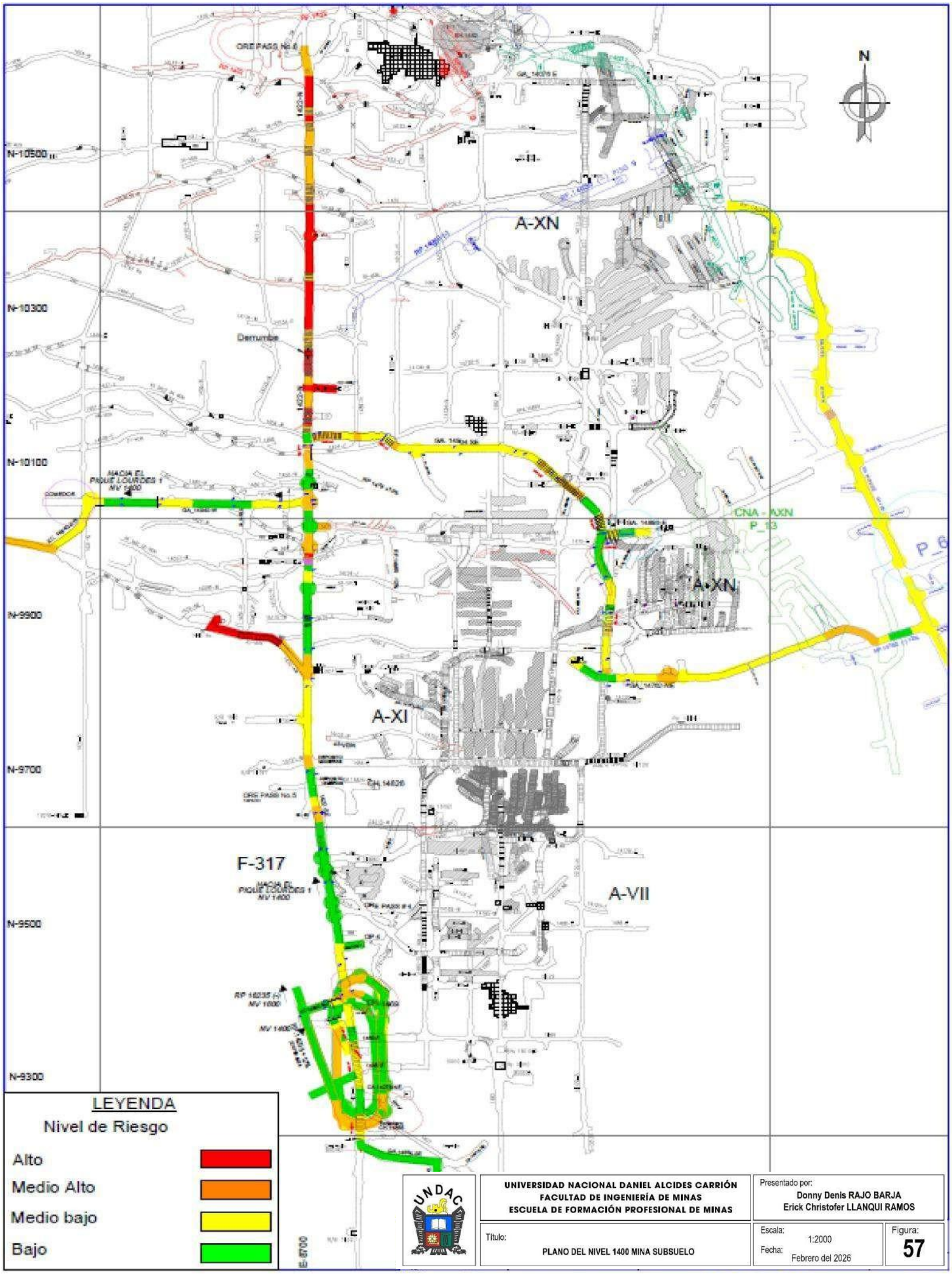
Nota. El plano de la Figura 55 ha sido extraido de Volcan Compañía Minera S.A.A. Unidad Cerro de Pasco.

Figura 53. *Plano del Nivel 1200 Mina Subsuelo*



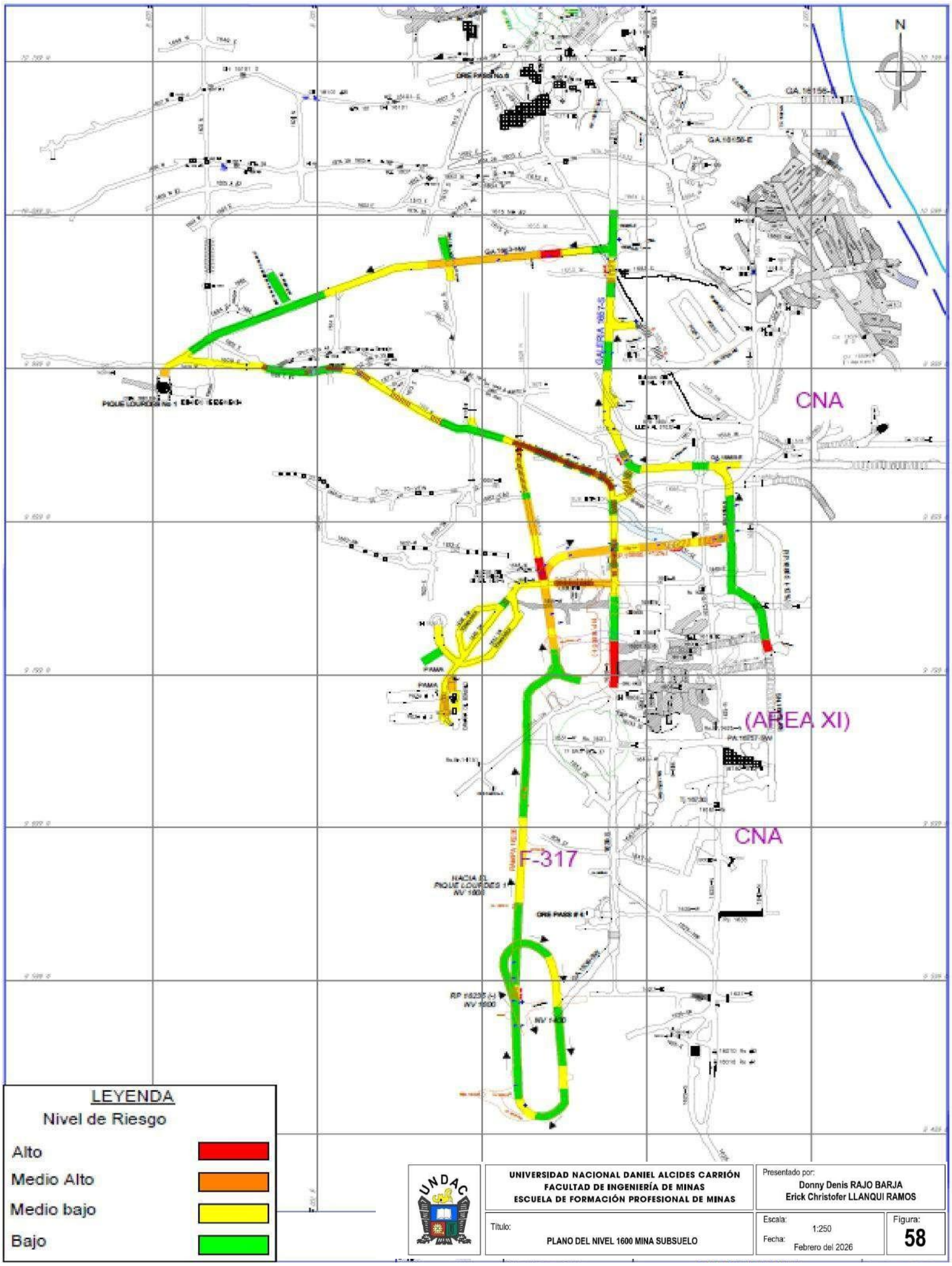
Nota. El plano de la Figura 56 ha sido extraido de Volcan Compañía Minera S.A.A. Unidad Cerro de Pasco.

Figura 54. *Plano del Nivel 1400 Mina Subsuelo*



Nota. El plano de la Figura 57 ha sido extraido de Volcan Compañía Minera S.A.A. Unidad Cerro de Pasco.

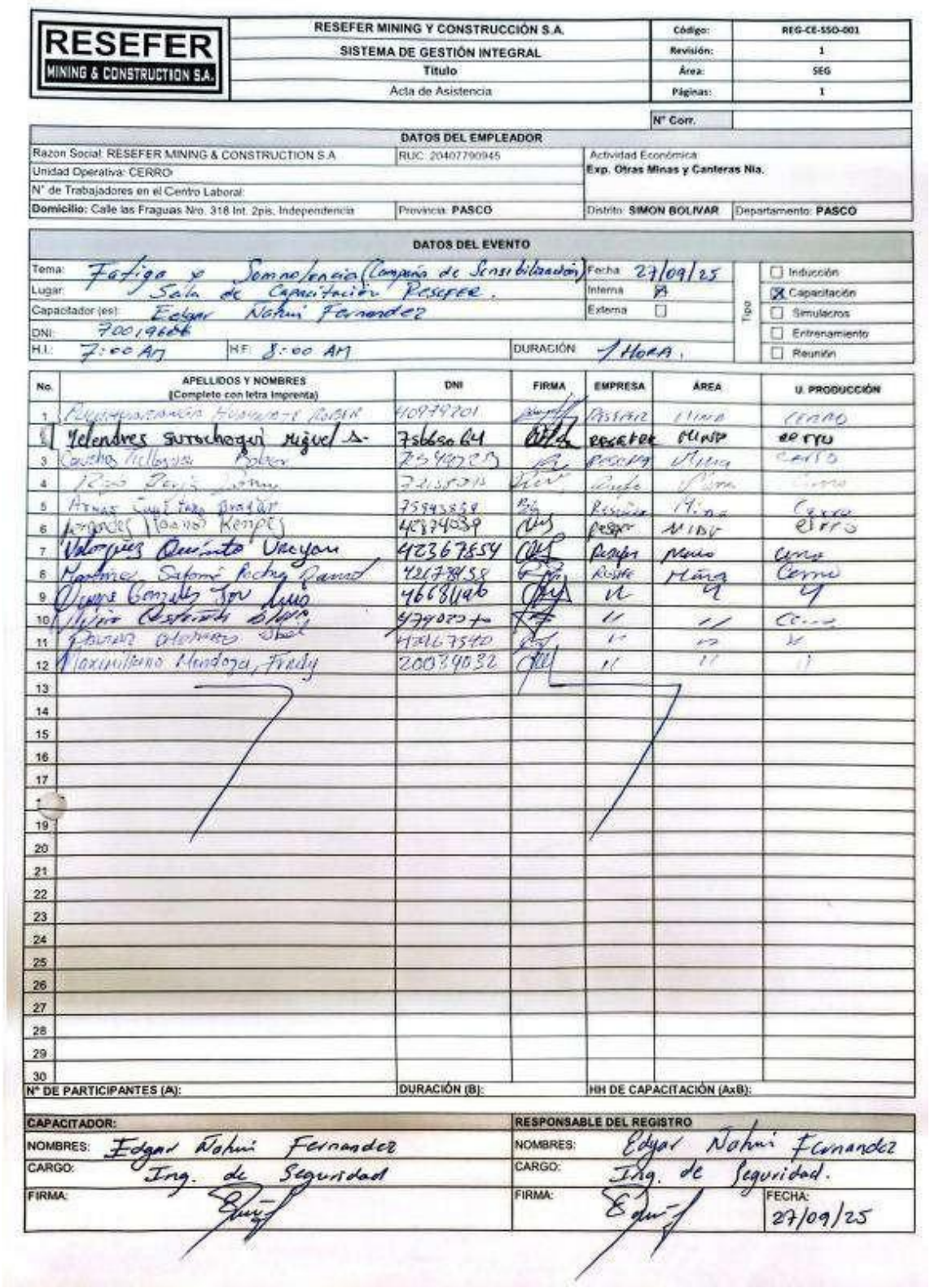
Figura 55. *Plano del Nivel 1600 Mina Subsuelo*



Nota. El plano de la Figura 58 ha sido extraido de Volcan Compañía Minera S.A.A. Unidad Cerro de Pasco.

Anexo 4. *Reportes de Seguridad*

Figura 56. *Capacitación de Sensibilización Sobre Fatiga y Somnolencia*



RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A.

RESEFER MINING Y CONSTRUCCIÓN S.A.	Código:	REG-CE-SSO-001
SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL	Revisión:	1
Título	Área:	SEG
Acta de Asistencia	Páginas:	1

N° Corr.

DATOS DEL EMPLEADOR

Razon Social: RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A	RUC: 20407790945	Actividad Económica: Exp. Otras Minas y Canteras Nia.	
Unidad Operativa: CERRO			
N° de Trabajadores en el Centro Laboral:			
Domicilio: Calle las Fraguas Nro. 318 Int. 2pis, Independencia	Provincia: PASCO	Distrito: SIMON BOLIVAR	Departamento: PASCO

DATOS DEL EVENTO

Tema: Fatiga y Somnolencia (Campaña de Sensibilización) Fecha: 27/09/25

Lugar: Sala de Capacitación Resefer. Interna ☒

Capacitador (es): Edgar Nahui Fernandez Externa ☐

DNI: 70019666

H.I.: 7:00 AM H.F.: 8:00 AM DURACIÓN: 1 Hora.

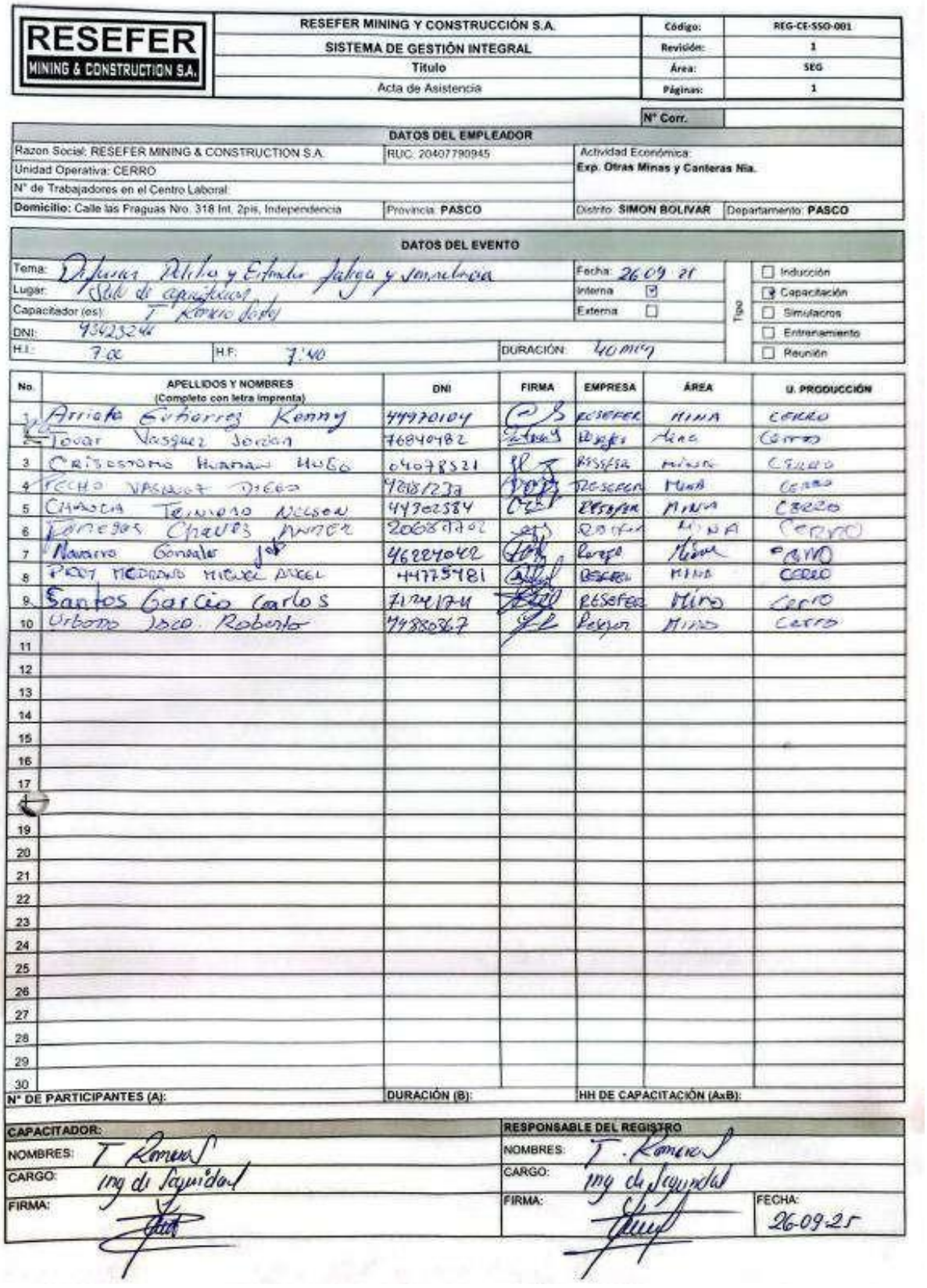
Tipo: ☐ Inducción ☒ Capacitación ☐ Simulacros ☐ Entrenamiento ☐ Reunión

No.	APELLIDOS Y NOMBRES (Complete con letra imprenta)	DNI	FIRMA	EMPRESA	ÁREA	U. PRODUCCIÓN
1	[illegible]	40979201		Resefer	Mina	Cerro
2	Melendres Surichaqui Miguel A.	75660464		resefer	Mina	Cerro
3	Cancha Mallqui Ruben	75940263		Resefer	Mina	Cerro
4	Rojas Davis [illegible]	72158215		Resefer	Mina	Cerro
5	Atanas Cunyetano Anabel	75943858		Resefer	Mina	Cerro
6	Arandes (David) Kenpes	45374039		Resefer	Mina	Cerro
7	Vasquez Quinto Urcyan	42367854		Resefer	Mina	Cerro
8	Martinez Salomé Pachy Daniel	42173858		Resefer	Mina	Cerro
9	Olivos Gonzales Jose Luis	46681146		"	"	"
10	Silvio Antonio Silva	47402376		"	"	Cerro
11	Edwin Alonso Diaz	42467540		"	"	"
12	Maximiliano Mendoza, Fredy	20039032		"	"	"
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

N° DE PARTICIPANTES (A): DURACIÓN (B): HH DE CAPACITACIÓN (AxB):

CAPACITADOR:	RESPONSABLE DEL REGISTRO
NOMBRES: Edgar Nahui Fernandez	NOMBRES: Edgar Nahui Fernandez
CARGO: Ing. de Seguridad	CARGO: Ing. de Seguridad.
FIRMA:	FIRMA: FECHA: 27/09/25

Figura 57. *Capacitación Sobre Fatiga y Somnolencia*



RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A.

RESEFER MINING Y CONSTRUCCIÓN S.A.	Código:	REG-CE-SSO-001
SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL	Revisión:	1
Título	Área:	SEG
Acta de Asistencia	Página:	1

N° Corr.

DATOS DEL EMPLEADOR

Razon Social: RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A.	RUC: 20407790945	Actividad Económica: Exp. Otras Minas y Canteras Nia.	
Unidad Operativa: CERRO			
N° de Trabajadores en el Centro Laboral:			
Domicilio: Calle las Fraguas Nro. 318 Int. 2pis, Independencia	Provincia: PASCO	Distrito: SIMON BOLIVAR	Departamento: PASCO

DATOS DEL EVENTO

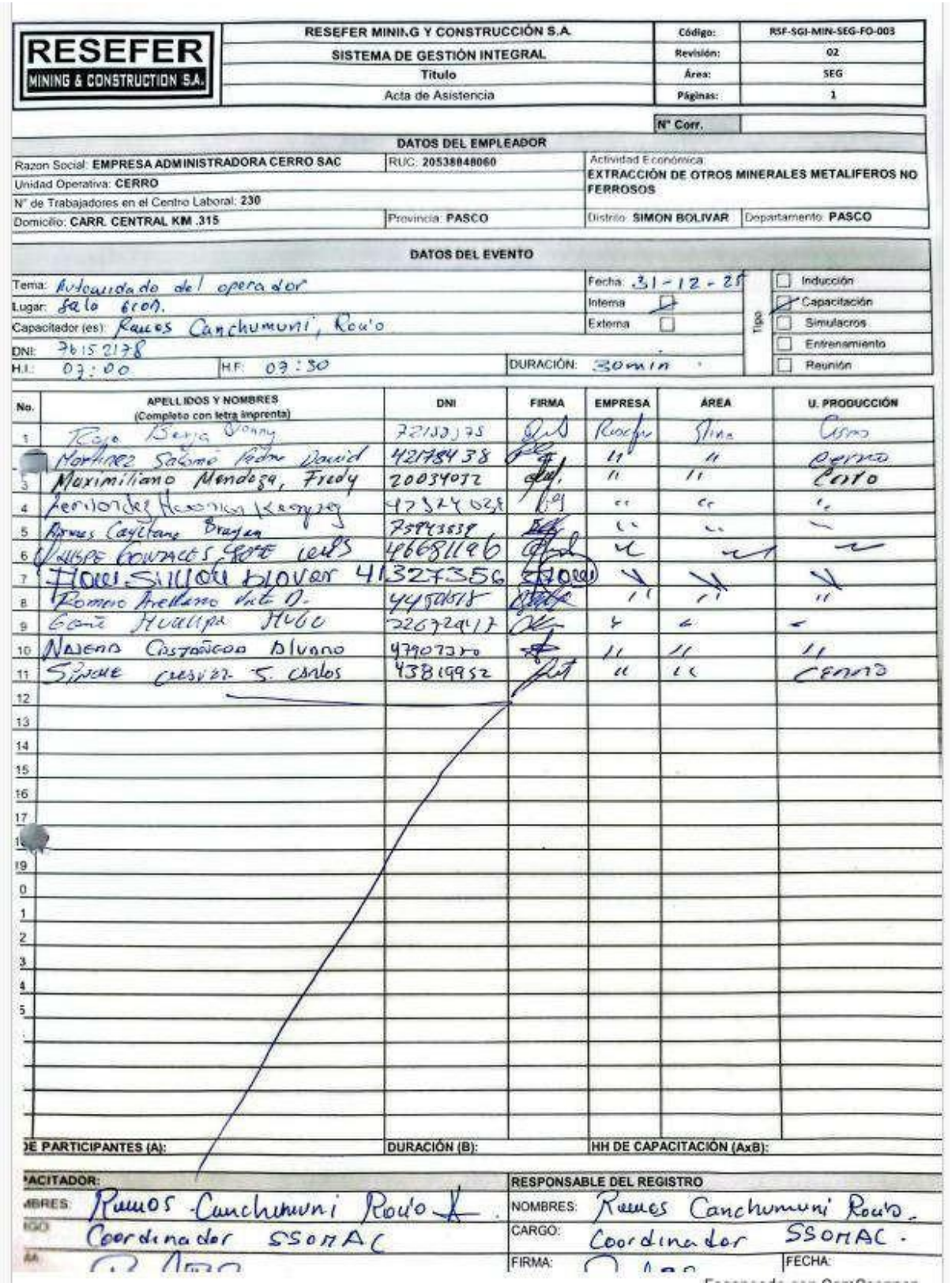
Tema: Difusión Alerta y Estado Fatiga y Somnolencia	Fecha: 26 09 25	Tipo	☐ Inducción
Lugar: Sala de capacitación	Interna ☑		☑ Capacitación
Capacitador (es): T. Romero Soto	Externa ☐		☐ Simulacros
DNI: 93023244			☐ Entrenamiento
H.I.: 7:00 H.F.: 7:40	DURACIÓN: 40 min		☐ Reunión

No.	APELLIDOS Y NOMBRES (Completo con letra imprenta)	DNI	FIRMA	EMPRESA	ÁREA	U. PRODUCCIÓN
1	Arriola Echarres Kenny	44970104		RESEFER	MINA	CERRO
2	Tovar Vasquez Jordan	76840482		Resefer	Mina	Cerro
3	Crisostomo Huaman Hugo	04078521		Resefer	Mina	Cerro
4	Techo Vasquez Diego	76087223		Reseffer	Mina	Cerro
5	Chacca Tenorio Nelson	44702584		Resefer	Mina	Cerro
6	Tarrejos Chavez Junior	20688702		Resefer	Mina	Cerro
7	Navarro Gonzales Jose	46224042		Resefer	Mina	Cerro
8	Poot Medrano Miguel Angel	44775481		Resefer	Mina	Cerro
9	Santos Garcia Carlos	71741714		Resefer	Mina	Cerro
10	Urbano Jaco. Roberto	74380367		Resefer	Mina	Cerro
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

N° DE PARTICIPANTES (A): | DURACIÓN (B): | HH DE CAPACITACIÓN (AxB):

CAPACITADOR:	RESPONSABLE DEL REGISTRO	
NOMBRES: T. Romero	NOMBRES: T. Romero	
CARGO: Ing de Seguridad	CARGO: Ing de Seguridad	
FIRMA:	FIRMA:	FECHA: 26-09-25

Figura 58. *Capacitación Sobre el Autocuidado del Operador*



RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A.

RESEFER MINING Y CONSTRUCCIÓN S.A.	Código:	RSF-SGI-MIN-SEG-FO-003
SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL	Revisión:	02
Título	Área:	SEG
Acta de Asistencia	Páginas:	1
	N° Corr.	

DATOS DEL EMPLEADOR

Razon Social: EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC	RUC: 20538048060	Actividad Económica: EXTRACCIÓN DE OTROS MINERALES METALIFEROS NO FERROSOS	
Unidad Operativa: CERRO			
N° de Trabajadores en el Centro Laboral: 230			
Domicilio: CARR. CENTRAL KM .315	Provincia: PASCO	Distrito: SIMON BOLIVAR	Departamento: PASCO

DATOS DEL EVENTO

Tema: Autocuidado del operador
Lugar: Sala Econ.
Capacitador (es): Ramos Canchumuni, Roulo
DNI: 76152178
H.I.: 07:00 H.F: 07:30 DURACIÓN: 30min
Fecha: 31-12-25
Interna ☐ Externa ☐
Tipo: ☐ Inducción ☑ Capacitación ☐ Simulacros ☐ Entrenamiento ☐ Reunión

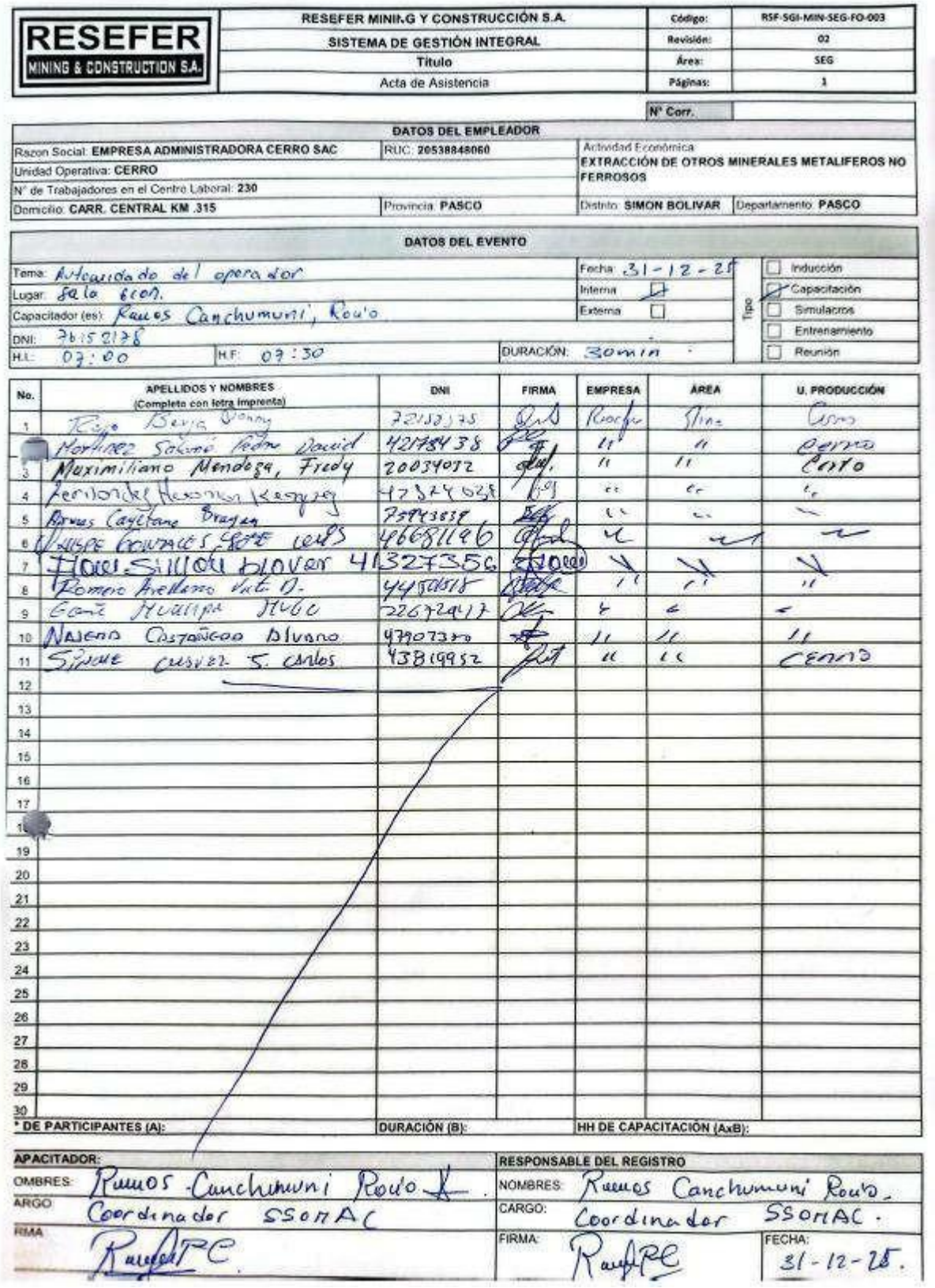
No.	APELLIDOS Y NOMBRES (Completo con letra imprenta)	DNI	FIRMA	EMPRESA	ÁREA	U. PRODUCCIÓN
1	Rojo Borja Jonny	72153175		Resefer	Mina	Cerro
2	Martinez Salomé Pedro David	42178438		"	"	Cerro
3	Maximiliano Mendoza, Fredy	20034072		"	"	Cerro
4	Jeriondel Hermosa Kenyi	47324028		"	"	"
5	Ramos Cayllano Brayan	75943859		"	"	"
6	Valdez Gonzales, Jose Luis	46681196		"	"	"
7	Howi Silvon Blover	41327356		"	"	"
8	Romero Arellano Vet O.	44504518		"	"	"
9	Cruz Huallpa Hugo	22672417		"	"	"
10	Najera Castañeda Alvaro	47907270		"	"	"
11	Sinche Cresencio S. Carlos	43819952		"	"	Cerro
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						

DE PARTICIPANTES (A): DURACIÓN (B): HH DE CAPACITACIÓN (AxB):

CAPACITADOR:
NOMBRES: Ramos Canchumuni Roulo
CARGO: Coordinador SSOMAC
FIRMA:

RESPONSABLE DEL REGISTRO
NOMBRES: Ramos Canchumuni Roulo
CARGO: Coordinador SSOMAC
FIRMA: FECHA:

Figura 59. *Capacitación Sobre el Autocuidado del Operador*



RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A.

RESEFER MINING Y CONSTRUCCIÓN S.A.		Código:	RSF-SGI-MIN-SEG-FO-003
SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL		Revisión:	02
Título		Área:	SEG
Acta de Asistencia		Páginas:	1

N° Corr.

DATOS DEL EMPLEADOR

Razon Social: EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC	RUC: 20538848060	Actividad Económica: EXTRACCIÓN DE OTROS MINERALES METALIFEROS NO FERROSOS	
Unidad Operativa: CERRO			
N° de Trabajadores en el Centro Laboral: 230			
Domicilio: CARR. CENTRAL KM .315	Provincia: PASCO	Distrito: SIMON BOLIVAR	Departamento: PASCO

DATOS DEL EVENTO

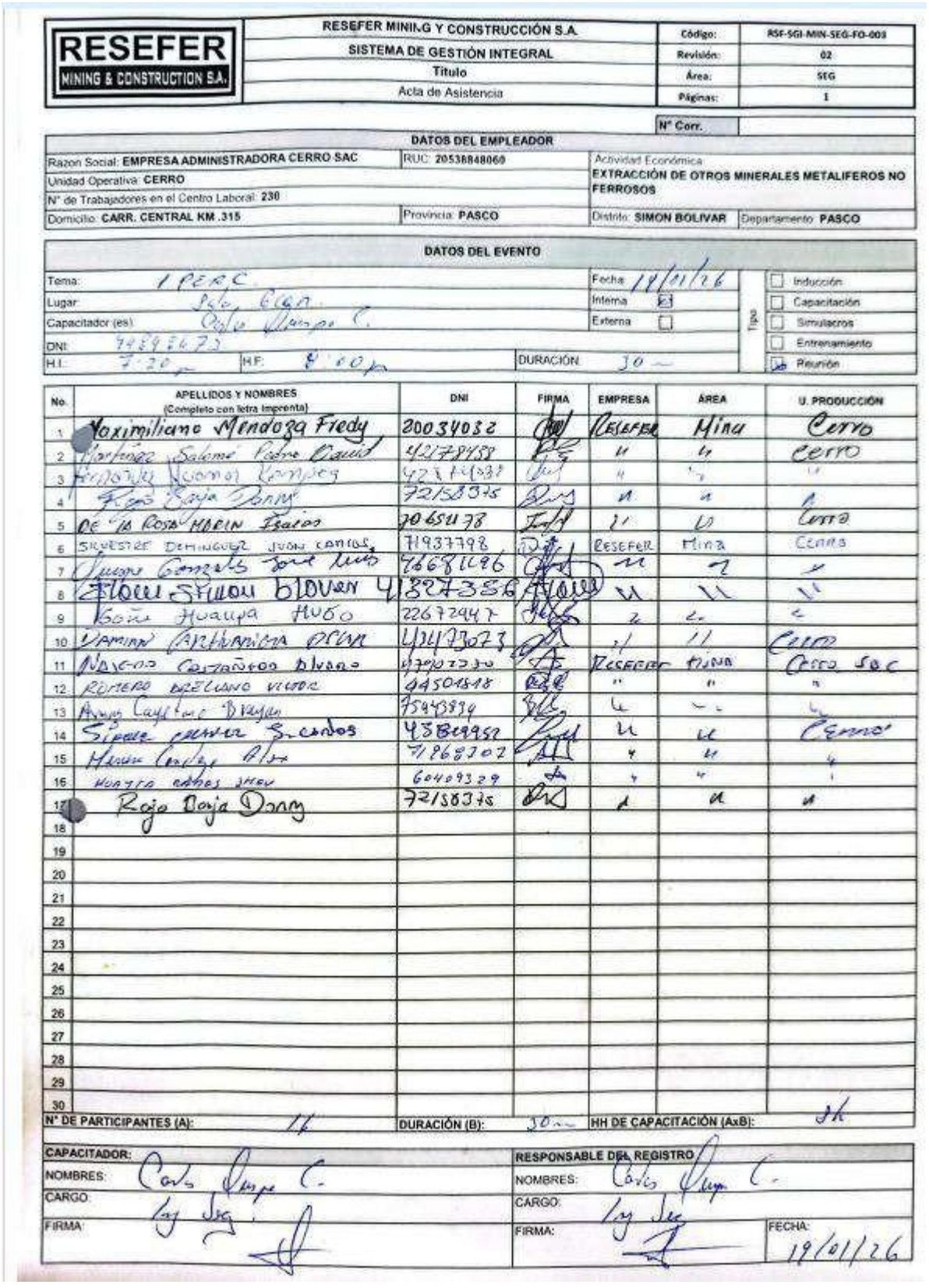
Tema: Autocuidado del operador
Lugar: Sala ECON.
Capacitador (es): Ramos Canchumuni, Rouo
DNI: 76152178
H.I.: 07:00 H.F.: 07:30 DURACIÓN: 30min
Fecha: 31-12-25
Interna ☒ Externa ☐
Tipo: ☐ Inducción ☑ Capacitación ☐ Simulacros ☐ Entrenamiento ☐ Reunión

No.	APELLIDOS Y NOMBRES (Completo con letra imprenta)	DNI	FIRMA	EMPRESA	ÁREA	U. PRODUCCIÓN
1	Rojo Bevia Jhony	72153175		Resefer	Mina	Cerro
2	Martinez Salomé Pedro David	42178438		"	"	Cerro
3	Maximiliano Mendoza, Fredy	20034072		"	"	Cerro
4	Perlondel Herrera Kenyi	47324028		"	"	"
5	Ramos Cayetano Brayan	75943859		"	"	"
6	Vilchez Gonzales, Jose Luis	46681196		"	"	"
7	Flores Silvera Glover	41327356		"	"	"
8	Romero Arellano Vict. O.	44550518		"	"	"
9	Gonz Huallpa Jhon	22672417		"	"	"
10	Najera Castañeda Bruno	47907370		"	"	"
11	Silva Cuevas S. Carlos	43819952		"	"	Cerro
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

* DE PARTICIPANTES (A): DURACIÓN (B): HH DE CAPACITACIÓN (AxB):

APACITADOR:		RESPONSABLE DEL REGISTRO	
OMBRES:	Ramos Canchumuni Rouo	NOMBRES:	Ramos Canchumuni Rouo.
ARGO:	Coordinador SSOMAC	CARGO:	Coordinador SSOMAC.
RMA		FIRMA:	FECHA: 31-12-25.

Figura 60. *Capacitación sobre el IPERC*



RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A.

RESEFER MINING Y CONSTRUCCIÓN S.A.	Código:	RSF-SGI-MIN-SEG-FO-003
SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL	Revisión:	02
Título	Área:	SEG
Acta de Asistencia	Páginas:	1

N° Corr.

DATOS DEL EMPLEADOR

Razon Social: EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC	RUC: 20538848060	Actividad Económica: EXTRACCIÓN DE OTROS MINERALES METALIFEROS NO FERROSOS	
Unidad Operativa: CERRO			
N° de Trabajadores en el Centro Laboral: 230			
Domicilio: CARR. CENTRAL KM .315	Provincia: PASCO	Distrito: SIMON BOLIVAR	Departamento: PASCO

DATOS DEL EVENTO

Tema: IPERC — Fecha: 19/01/26

Lugar: Sala Cam. — Interna [X] — Externa [ ]

Capacitador (es): Carlos Quispe C.

DNI: 74396473

H.I.: 7:20 a.m. — H.F.: 8:00 a.m. — DURACIÓN: 30'

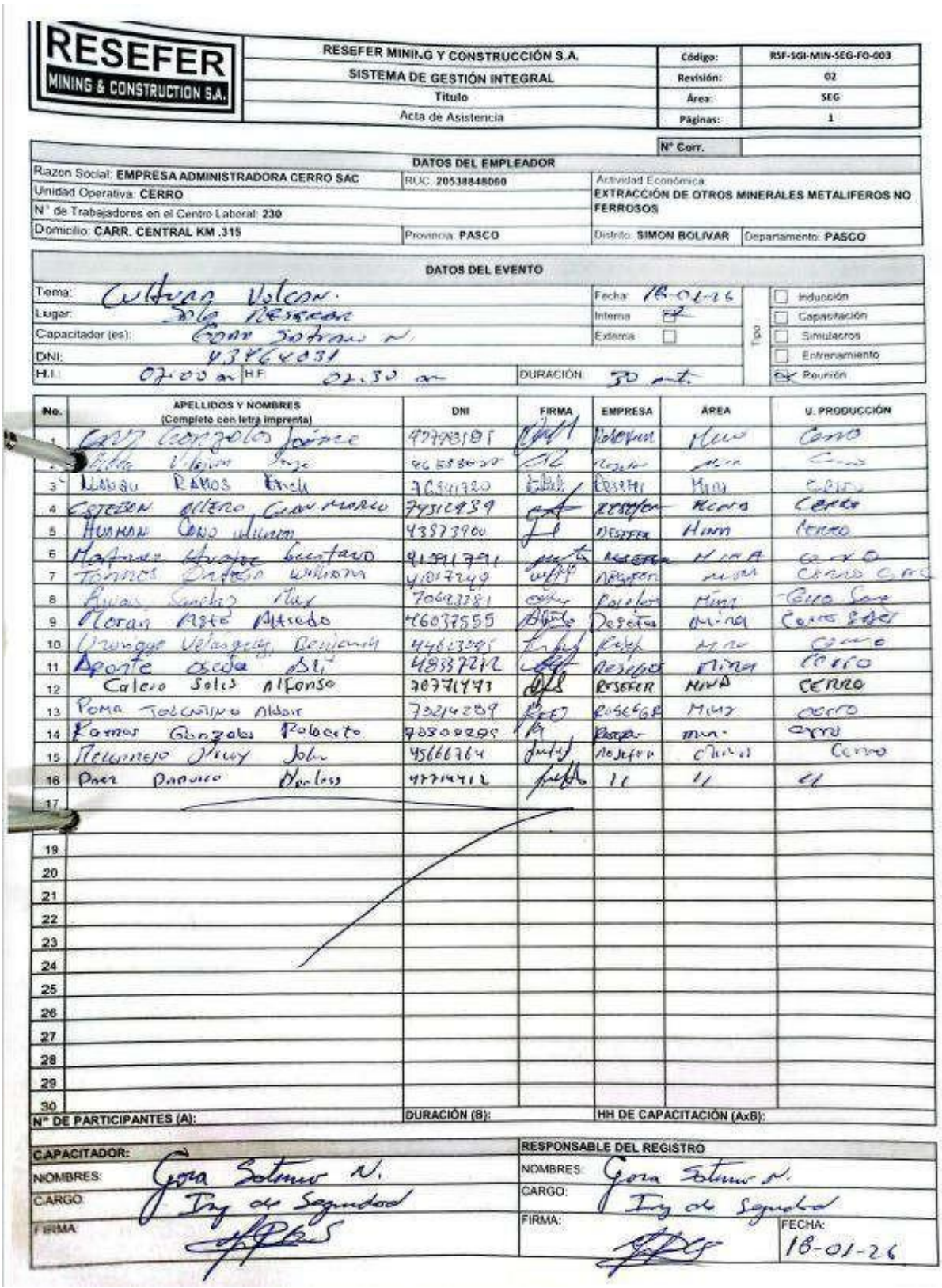
Tipo: [ ] Inducción [ ] Capacitación [ ] Simulacros [ ] Entrenamiento [X] Reunión

No.	APELLIDOS Y NOMBRES (Completo con letra imprenta)	DNI	FIRMA	EMPRESA	ÁREA	U. PRODUCCIÓN
1	Maximiliano Mendoza Fredy	20034032		RESEFER	Mina	Cerro
2	Martinez Salomé Pedro David	42178458		"	"	cerro
3	Hinostroza Huaman Kenyeg	42[illegible]938		"	"	"
4	Rojo Roja Danny	72158375		"	"	"
5	DE LA ROSA MORIN Isaias	70654178		"	"	Cerro
6	SILVESTRE DOMINGUEZ JUAN CARLOS	71937798		RESEFER	Mina	Cerro
7	Quispe Gonzales José Luis	76681496		"	"	"
8	ZILOLI STILOU BLOVER	41827356		"	"	"
9	Soño Huaupa Hugo	22672947		"	"	"
10	YAMUNA CARHUANCHO OSCAR	42473673		"	"	Cerro
11	NARCISO CASTAÑEDA RIVERA	47907230		RESEFER	MINA	Cerro SAC
12	ROMERO MELCHOR VICTOR	94501818		"	"	"
13	Anaya Cayetano Diego	75443819		"	"	"
14	Silupu Chavez Escudos	43869952		"	"	Cerro
15	Huaman Carlos Alex	71868702		"	"	"
16	Huayta Cabos Jhon	60409329		"	"	"
17	Rojo Roja Danny	72158375		"	"	"
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

N° DE PARTICIPANTES (A): 17 — DURACIÓN (B): 30' — HH DE CAPACITACIÓN (AxB): 8h

CAPACITADOR:	RESPONSABLE DEL REGISTRO:	
NOMBRES: Carlos Quispe C.	NOMBRES: Carlos Quisp C.	
CARGO: Ing Seg.	CARGO: Ing Seg	
FIRMA:	FIRMA:	FECHA: 19/01/26

Figura 61. *Capacitación Sobre la Cultura Volcan*



RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A.

RESEFER MINING Y CONSTRUCCIÓN S.A.		Código:	RSF-SGI-MIN-SEG-FO-003
SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL		Revisión:	02
Título		Área:	SEG
Acta de Asistencia		Páginas:	1

N° Corr.

DATOS DEL EMPLEADOR

Razon Social: EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC	RUC: 20538848060	Actividad Económica: EXTRACCIÓN DE OTROS MINERALES METALIFEROS NO FERROSOS	
Unidad Operativa: CERRO			
N° de Trabajadores en el Centro Laboral: 230			
Domicilio: CARR. CENTRAL KM .315	Provincia: PASCO	Distrito: SIMON BOLIVAR	Departamento: PASCO

DATOS DEL EVENTO

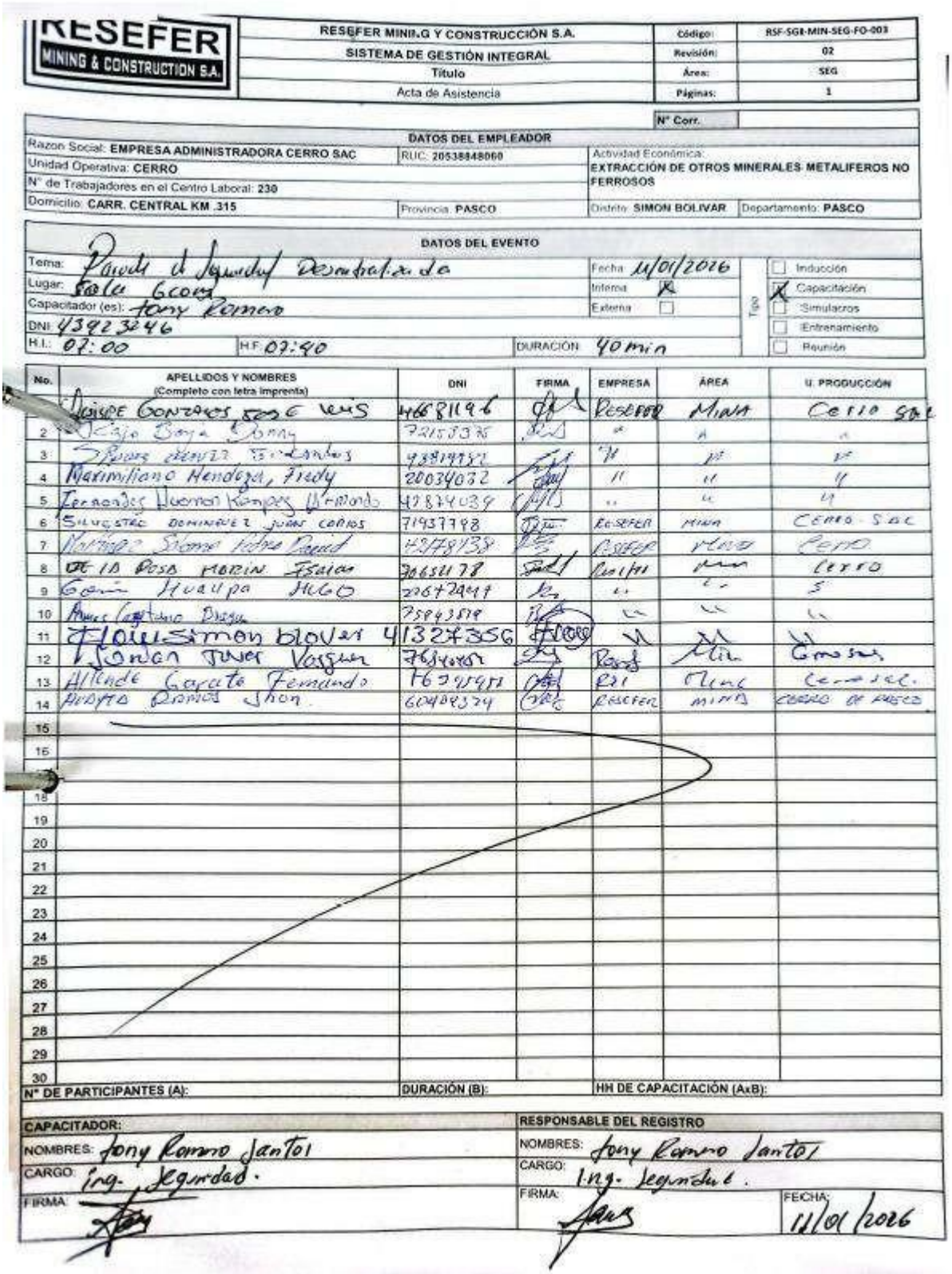
Tema:	Cultura Volcan.	Fecha:	16-01-26	Tipo	☐ Inducción
Lugar:	Sala Reseñas	Interna	☑		☐ Capacitación
Capacitador (es):	Gora Zotano N.	Externa	☐		☐ Simulacros
DNI:	43476031				☐ Entrenamiento
H.I.:	07:00 am	H.F.	02:30 pm	DURACIÓN:	30 min. ☒ Reunión

No.	APELLIDOS Y NOMBRES (Completo con letra imprenta)	DNI	FIRMA	EMPRESA	AREA	U. PRODUCCIÓN
1	Cruz Gonzales Jaime	47783181		Volcan	Mina	Cerro
2	Flor Ulloa Jorge	46538020		Volcan	Mina	Cerro
3	Huaman Ramos Erick	76941720		Resefer	Mina	Cerro
4	Esteban Otero Juan Mario	74516939		Resefer	Mina	Cerro
5	Huaman Cano William	43573900		Resefer	Mina	Cerro
6	Martinez Huaraz Gustavo	41591791		Resefer	Mina	Cerro
7	Tornos Andres William	41017249		Resefer	Mina	Cerro
8	Rivas Sanchez Max	70693781		Resefer	Mina	Cerro
9	Moran Mate Alfredo	46037555		Resefer	Mina	Cerro
10	Urunaga Velasquez Benjamin	44613095		Resefer	Mina	Cerro
11	Aponte Ocaña Eli	48337212		Resefer	Mina	Cerro
12	Calero Solis Alfonso	70771471		RESEFER	MINA	CERRO
13	Poma Tolentino Aldair	73214289		RESEFER	MINA	cerro
14	Ramos Gonzales Roberto	70300295		Resefer	mina	cerro
15	Reluminejo Jhon Jobe	45666764		Resefer	Mina	Cerro
16	Paez Damian Nerlon	47714412		11	11	11
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

N° DE PARTICIPANTES (A): | DURACIÓN (B): | HH DE CAPACITACIÓN (AxB):

CAPACITADOR:		RESPONSABLE DEL REGISTRO	
NOMBRES:	Gora Zotano N.	NOMBRES:	Gora Zotano N.
CARGO:	Ing de Seguridad	CARGO:	Ing de Seguridad
FIRMA:		FIRMA:	FECHA: 16-01-26

Figura 62. *Parada de Seguridad Descentralizada*



RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A.

RESEFER MINING Y CONSTRUCCIÓN S.A.		Código:	RSF-SGI-MIN-SEG-FO-003
SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL		Revisión:	02
Título		Área:	SEG
Acta de Asistencia		Páginas:	1

N° Corr.

DATOS DEL EMPLEADOR

Razon Social: EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO SAC | RUC: 20538848060 | Actividad Económica: EXTRACCIÓN DE OTROS MINERALES METALIFEROS NO FERROSOS

Unidad Operativa: CERRO

N° de Trabajadores en el Centro Laboral: 230

Domicilio: CARR. CENTRAL KM .315 | Provincia: PASCO | Distrito: SIMON BOLIVAR | Departamento: PASCO

DATOS DEL EVENTO

Tema: Parada de Seguridad Descentralizada

Lugar: Cerro 6com

Capacitador (es): Tony Romero

DNI 43923246

H.I.: 07:00 | H.F. 07:40 | DURACIÓN: 40 min

Fecha: 11/01/2026

Interna: X | Externa: ☐

Tipo: ☐ Inducción ☒ Capacitación ☐ Simulacros ☐ Entrenamiento ☐ Reunión

No.	APELLIDOS Y NOMBRES (Completo con letra imprenta)	DNI	FIRMA	EMPRESA	ÁREA	U. PRODUCCIÓN
1	Jaime Gonzales Sosa Luis	46681196		Resefer	Mina	Cerro Sac
2	Cajo Baja Jhony	72155376		"	"	"
3	Rivas Alvitez Fernandez	93819952		"	"	"
4	Maximiliano Hendeza, Fredy	20034032		"	"	"
5	Fernandez Huaman Rompes Armando	42874039		"	"	"
6	Silvestre Dominguez Juan Carlos	71937798		Resefer	mina	Cerro Sac
7	Martinez Silva Victor David	42778138		Resefer	Mina	Cerro
8	De la Rosa Morin Isaias	70651178		Resefer	mina	Cerro
9	Garcia Huallpa Hugo	22672941		"	"	"
10	Ramos Capcha Diego	75843578		"	"	"
11	Flores Simon Bladimir	41327356		"	"	Cerro
12	Yonan Jhon Vasquez	76346052		Resefer	Mina	Cerro
13	Allende Cayeta Fernando	46729451		Resefer	Mina	Cerro Sac.
14	Pedro Ramos Jhon	60484374		Resefer	mina	Cerro de Pasco
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

N° DE PARTICIPANTES (A): | DURACIÓN (B): | HH DE CAPACITACIÓN (AxB):

CAPACITADOR:	RESPONSABLE DEL REGISTRO
NOMBRES: Tony Romero Santos	NOMBRES: Tony Romero Santos
CARGO: Ing. Seguridad.	CARGO: Ing. Seguridad.
FIRMA:	FIRMA:
	FECHA: 11/01/2026

Anexo 5. *Panel Fotográfico*

Figura 63. *Tesista cerca a la Boca Mina 8066*



Figura 64. *Tesista Mostrando sus Credenciales de Acceso a la Mina*



Figura 65. *Monitoreo de Gases del Nivel 800*



Figura 66. *Rampa Esperanza*



Figura 67. *Tesista junto al Robot Putzmeister*



Figura 68. *Sostenimiento de la Rampa Mediante Concreto Lanzado*



Figura 69. *Scooptram 1300 en el Tajo Raul Rojas*



Figura 70. *Scaler Rock Breaaker 7*



Figura 71. *Robot Putzmeister en el tajo Raul Rojas*



Figura 72. *Jumbo Empernador Rock Bolt 320*



Figura 73. *Robot Putzmeister en el Tajo Raul Rojas*



Figura 74. *Jumbo Empernador Rock Bolt 320*



Figura 75. *Telehandler en la Rampa Esperanza*



Figura 76. *Jumbo Empernador Rock Bolt 320*



Figura 77. *Scaler Rock Breaker 7*



Figura 78. Robot Putzmeister



Figura 79. *Scooptram 1300*

