

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**OPTIMIZACIÓN DE LA GRADIENTE DE RAMPA PARA
INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA
UNIDAD MINERA ALPAMARCA, 2023**

TESIS

Presentada por:

Bach. Jenifer Laura Chino Franklin

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

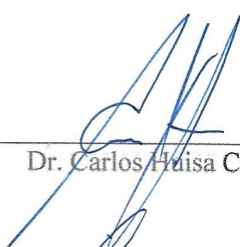
Facultad de ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**OPTIMIZACIÓN DE LA GRADIENTE DE RAMPA PARA
INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA UNIDAD MINERA
ALPAMARCA, 2023**

Tesis sustentada y aprobada el 29 de diciembre del 2025; ante el siguiente jurado
examinador:

Presidente:


Dr. Carlos Huisa Ccori

Miembro Accesorio:


Dr. Jorge José Segura Dávila

Miembro Vocal:


MSc. Salomón Medardo Ortiz Quintanilla

Asesor:


MSc. Salomón Medardo Ortiz Quintanilla

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, SALOMÓN MEDARDO ORTIZ QUINTANILLA, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 8723-2024-FAIN/UNJBG de la tesis titulado: OPTIMIZACIÓN DE LA GRADIENTE DE RAMPA PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA UNIDAD MINERA ALPAMARCA, 2023

Presentado por el Bachiller JENIFER LAURA CHINO FRANKLIN, Para optar título profesional de Ingeniero de Minas.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual** TURNITIN cuenta con el **nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es** 08 % Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciado líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

Tacna, 06 de marzo de 2026

FIRMA ASESOR



Huella digital

Nombres y apellidos, DNI Salomón Medardo Ortiz Quintanilla 00425524

ORCID: 0000-0002-5185-9929

FIRMA TESISTA



Huella digital

Nombres y apellidos, DNI Jenifer Laura Chino Franklin 71317279

Código C.U. N°: 2016-101014

DEDICATORIA

A mi familia, por su paciencia, comprensión y el sacrificio que hicieron por mí, para que pudiera dedicarme plenamente a mis estudios. Este logro lo dedico a ustedes con mucho cariño.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi asesor el Ing. Salomón Ortiz Quintanilla por su paciencia, sus rigurosas revisiones y por la confianza que depositó en este trabajo desde el inicio.

A mis padres, por ser mi inspiración constante, por sus incontables sacrificios, el apoyo moral y económico, que permitió enforcarme por completo en mis estudios.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Antecedentes del problema	3
1.2. Descripción del problema.....	5
1.3. Formulación del problema	7
1.4. Objetivos	7
1.5. Justificación e importancia de la investigación.....	8
1.6. Limitaciones	10
1.7. Viabilidad del estudio.....	10
1.8. Formulación de hipótesis	11
1.9. Variables.....	11

1.9.1. Identificación de las variables	11
1.9.2. Definición conceptual y operacional de las variables	12
1.10. Operacionalización de las variables	13
CAPÍTULO II	15
MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Antecedentes del trabajo de investigación	15
2.2. Bases teóricas	18
2.2.1. Mina Alpamarca	18
2.2.2. Optimización de la gradiente de rampa.....	22
2.2.3. Incremento de la productividad.....	28
2.3. Definición de términos	34
2.4. Plano general de la Unidad Minera Alpamarca	36
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	39
3.1. Planteamiento metodológico:.....	39
3.1.1. Tipo y nivel de la investigación	39
3.1.2. Diseño de la investigación.....	39
3.2. Población y muestra de estudio	40
3.2.1. Población.....	40
3.2.2. Muestra.....	40
3.3. Equipos y materiales	41

3.4.	Procedimiento de las pruebas realizadas	41
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.5.1.	Técnicas	43
3.5.2.	Instrumentos	43
3.6.	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	44
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....		45
4.1.	Descripción de las pruebas realizadas	45
4.2.	Presentación y análisis de los resultados	69
4.2.1.	Estadísticas Descriptivas:	69
4.2.2.	Estadísticas Descriptivas de Pendientes:	70
4.3.	Análisis de eficiencia operativa:	71
4.3.1.	Análisis de los Resultados	71
4.4.	Contrastación de hipótesis	72
4.4.1.	Hipótesis general	72
4.4.2.	Primera hipótesis específica	73
4.4.3.	Segunda hipótesis específica	73
4.4.4.	Tercera hipótesis específica	74
4.5.	Discusión de resultados	75
CONCLUSIONES		78
RECOMENDACIONES		79

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS	87
Anexo 01 MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable independiente.....	13
Tabla 2 Operacionalización de la variable dependiente.....	14
Tabla 3 Tabla de volquetes	46
Tabla 4 Acceso a tajo centro	48
Tabla 5 Rampas principales	48
Tabla 6 Acceso a tajo sur	50
Tabla 7 Rampas principales del Tajo Sur	51
Tabla 8 Acceso a Banco Minero	52
Tabla 9 Acceso a Tajo Norte.....	54
Tabla 10 Relación de tramos Tajo Norte	56
Tabla 13 Data de la cantidad de viajes de transporte de mineral según número de banco del tajo – Primer Trimestre 2023.	64
Tabla 14 Data de la cantidad de viajes de transporte de mineral según número de banco del tajo – Segundo Trimestre 2023.	65
Tabla 15 Data de la cantidad de viajes de transporte de mineral según número de banco del tajo – Tercer Trimestre 2023.....	66
Tabla 16 Data de la cantidad de viajes de transporte de mineral según número de banco del tajo – Cuarto Trimestre 2023.	67

Tabla 17 Distancias y precios unitarios por ton-km	68
Tabla 18 Ratios tiempos vs ton guardia	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Vista de la mina</i>	19
Figura 2 <i>Rampas Mineras</i>	20
Figura 3 <i>Volquetes de acarreo</i>	21
Figura 4 <i>Plano general – Tajo Alpamarca</i>	38
Figura 5 <i>Diseño de vía de doble carril</i>	45
Figura 6 <i>Diseño de vía de un solo carril</i>	46
Figura 7 <i>Diseño de radio de giro de rampa de dos carriles</i>	47
Figura 8 <i>Tajo centro</i>	47
Figura 9 <i>Tajo centro de rampas principales</i>	49
Figura 10 <i>Tajo sur</i>	50
Figura 11 <i>Rampas del Tajo Sur</i>	52
Figura 12 <i>Banco Minero</i>	53
Figura 13 <i>Acceso a Tajo Norte</i>	55
Figura 14 <i>Ampliación del Tajo Norte</i>	57
Figura 15 <i>Toneladas extraídas</i>	58
Figura 16 <i>Toneladas extraídas trimestral</i>	59
Figura 17 <i>Requisitos para ingreso a la mina</i>	61

Figura 18 <i>Portada del libro de Controles críticos de campo por PPM</i>	62
Figura 19 <i>Primeros registros combinados</i>	70

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal establecer cómo la optimización de la gradiente de rampa contribuye al incremento de la productividad en la Unidad Minera Alpamarca durante el año 2023. Se empleó una metodología básica, con diseño no experimental y enfoque cualitativo, analizando información operativa de rampas y equipos de transporte en distintos tajos mediante análisis de documentos técnicos y reportes de producción. Los resultados evidencian que rampas con gradiente cercana al 8 % (vs. >10 % iniciales) redujeron el tiempo de ciclo de 48,2 a 44,6 minutos (mejora del 7,5 %), incrementaron viajes por hora de 2,02 a 3,12 (mejora del 54,5 %) y elevaron el tonelaje diario de 598,4 a 924,7 toneladas (mejora del 54,5 %), eliminando además 2 incidentes de seguridad. Esta optimización mejora la eficiencia operativa, reduce costos de acarreo y fortalece la seguridad, confirmando todas las hipótesis planteadas.

Palabras clave: Gradiente de rampa, productividad minera, eficiencia operativa, acarreo, minería a tajo abierto.

ABSTRACT

The main objective of this research was to establish how ramp gradient optimization contributes to increased productivity at the Alpamarca Mining Unit during 2023. A basic methodology was employed, with a non-experimental design and a qualitative approach, analyzing operational information on ramps and transport equipment in different open pits through the analysis of technical documents and production reports. The results show that ramps with a gradient close to 8 % (vs. >10 % initially) reduced cycle time from 48.2 to 44.6 minutes (a 7,5 % improvement), increased trips per hour from 2.02 to 3.12 (a 54,5 % improvement), and raised daily tonnage from 598.4 to 924.7 tons (a 54,5 % improvement), while also eliminating two safety incidents. This optimization improves operational efficiency, reduces hauling costs, and strengthens safety, confirming all the hypotheses put forward.

Keywords: Ramp gradient, mining productivity, operational efficiency, hauling, open-pit mining.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del estudio se organiza en una estructura que comprende cuatro capítulos que a continuación se presenta:

El Capítulo I, establece el marco inicial de la investigación, es decir el planteamiento del problema, contemplando los antecedentes, la descripción del problema, la formulación, los objetivos, la justificación, las limitaciones la viabilidad, la formulación de las hipótesis, las variables y por último la operacionalización de las variables.

El Capítulo II, se adentra en el marco teórico que sustenta la investigación, revisando antecedentes relevantes y estableciendo las bases conceptuales necesarias para establecer cómo la optimización de la gradiente de rampa incrementa la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023.

En el Capítulo III, se describe la metodología de investigación empleada, detallando el planteamiento metodológico, los equipos y materiales, los procedimientos de las pruebas experimentales, la selección de muestras y las técnicas de recolección y el procesamiento de datos

En el Capítulo IV, se presentan los resultados obtenidos a partir del estudio realizado en la unidad minera Alpamarca, 2023. Se analizan los datos recopilados.

En el Capítulo V, se presenta la discusión, la cual implica las pruebas de validación del modelo experimental, la aplicación de la tecnología encontrada y el contraste con trabajos de investigación similares.

Finalmente, las conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes del problema

A nivel internacional, la Oficina Internacional del Trabajo (OIT, 2022) afirma que, en los últimos años, se ha hecho evidente un marcado aumento en la productividad de las minas en diversas regiones del mundo. En países como Canadá, India y los Estados Unidos, se ha presenciado un crecimiento de más del 100 %, mientras que en Australia este incremento ha superado el 200 %. Sin embargo, este aumento productivo ha estado acompañado de transformaciones estructurales en la industria minera, donde la eficiencia de las operaciones unitarias, como el acarreo, juega un papel central.

Uno de los aspectos técnicos más estudiados en la minería a cielo abierto es la gradiente de las rampas. Investigaciones recientes demuestran que el diseño de la pendiente tiene un efecto directo sobre los tiempos de acarreo, el consumo de combustible, la seguridad y el desgaste de equipos. Yarmuch et al. (2020), en su publicación *Optimum ramp design in open pit mines*, sostienen que gradientes excesivamente pronunciados aumentan la fatiga de los motores, elevan los costos de mantenimiento y generan mayores riesgos de accidentabilidad; mientras que gradientes muy suaves, aunque más seguras, alargan las distancias de transporte y reducen la eficiencia global.

De manera similar, Tapia (2020) en su estudio en minas chilenas sobre el efecto del gradiente de rampa en el beneficio económico, concluyó que pendientes cercanas al 8 % representan un equilibrio adecuado entre eficiencia y seguridad, en comparación con gradientes mayores al 10 %, que reducen significativamente el rendimiento operativo.

En el contexto nacional, Herrera (2023) analizó el cambio de gradiente de rampas en el Tajo Sur de la Cía. Minera Antapaccay, encontrando que un incremento de pendiente de 10 % a 12 % afectaba la eficiencia operativa, pero podía generar beneficios económicos bajo ciertas condiciones de reservas y fases de minado. Asimismo, Díaz y Santamaría (2022) propusieron una gradiente óptima en la mina Papote Minpar, demostrando que pendientes inadecuadas no solo afectan la productividad, sino también el cumplimiento de la normativa minera.

En el Perú, el sector minero atraviesa una etapa de crecimiento sostenido. Según el Banco Central de Reserva (2023), se proyectó un incremento del 8,8 % en la actividad minera hacia finales del año, acompañado por récords de producción en cobre, oro y plata (Adrianzén, 2023). Este dinamismo reafirma la necesidad de optimizar cada etapa del ciclo productivo, particularmente el acarreo, donde el diseño de rampas constituye un factor crítico para alcanzar altos niveles de eficiencia y competitividad.

En síntesis, la evidencia internacional y nacional coincide en que la pendiente de rampa es una variable determinante para la productividad minera. Un

diseño inadecuado, ya sea por excesiva inclinación o por suavidad extrema, compromete la eficiencia operativa, incrementa los costos y pone en riesgo la seguridad de los trabajadores.

1.2. Descripción del problema

La optimización de la productividad en la industria minera sigue siendo una prioridad crucial, tanto para los productores como para su cadena de apoyo, y es esencial mantener actualizada la información sobre este tema para identificar los factores críticos que inciden en el proceso (Medina, 2023).

Para comprender mejor la optimización de la productividad, es necesario definir este concepto y ejecutar cada etapa de manera eficiente, considerando el panorama general del ciclo de minado y ajustando los parámetros entre las operaciones unitarias.

Actualmente, en la Unidad Minera Alpamarca, cuenta con 03 tajos que forman parte de su extracción, la geología; por otra parte, presenta una falla principal denominada Falla Negra, donde afloran el Zinc, Plomo y Plata, principales minerales de extracción.

Para cumplir con los objetivos de la producción, se han realizado distintos diseños del pit elaborándose desde las características geológicas de cada frente de minado, que no fueron eficientes en su totalidad; siendo así la gradiente de rampa,

tanto para rampas principales como operativas, siendo este el propósito de la investigación.

Un diseño adecuado de la gradiente de rampa puede optimizar el flujo de tráfico de equipos y vehículos, reducir los tiempos de transporte, mejorar la accesibilidad a las áreas de extracción y facilitar el movimiento de material, lo que se traduce en una mayor productividad y menores costos.

Sin embargo, ajustar la gradiente de rampa requiere un análisis detallado de factores como la geología del terreno, la capacidad de los equipos de transporte y las condiciones operativas específicas de la mina, así como el uso de tecnologías de modelado y simulación para evaluar diferentes escenarios (Maguiña, 2023).

Para comprender cómo la gradiente de rampa influye en la optimización de la productividad en Alpamarca en 2023, es necesario analizar cómo diferentes ángulos de inclinación pueden afectar la eficiencia operativa, los costos de mantenimiento, el tiempo de transporte y la seguridad laboral, y evaluar prácticas o tecnologías que puedan mitigar impactos negativos.

En conclusión, considerar cuidadosamente el diseño y ajuste de la gradiente de rampa y como puede mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y maximizar el rendimiento de las operaciones mineras, contribuyendo a un sector más sostenible, rentable y seguro.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema principal

¿Cómo la optimización de la gradiente de rampa incrementa la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se relaciona la eficiencia y la eficacia operativa con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023?
- ¿Cómo se relaciona la eficiencia y el costo unitario de acarreo con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023?
- ¿Cómo se relaciona la seguridad y la pendiente de rampa con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Establecer cómo la gradiente de rampa optimiza el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023.

1.4.1. Objetivos específicos

- Determinar la relación entre la eficiencia y eficacia operativa con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023.

- Establecer cómo se relaciona la eficiencia y el costo unitario de acarreo con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023.
- Describir cómo se relaciona la seguridad y la pendiente de rampa con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023

1.5. Justificación e importancia de la investigación

Justificación práctica

El estudio sobre la optimización de la productividad en la unidad minera Alpamarca es fundamental para mejorar la eficiencia operativa y económica de la empresa minera. La optimización de la productividad es un objetivo prioritario en cualquier industria, especialmente en el sector minero, donde los costos operativos y la eficiencia tienen un impacto directo en la rentabilidad y sostenibilidad del negocio. Comprender cómo se relaciona esta optimización con la gradiente de rampa es esencial para identificar posibles áreas de mejora y tomar decisiones informadas que impulsen el rendimiento de la unidad minera.

Justificación teórica

Desde el punto de vista teórico, este estudio contribuirá al conocimiento existente sobre la gestión de la productividad en el sector minero, específicamente en relación con la infraestructura de acceso a las zonas de extracción. La gradiente de rampa, que se refiere a la inclinación de las rampas utilizadas para el transporte de materiales y personal en la mina, es un factor crítico que puede influir en la

eficiencia operativa y la seguridad laboral. Explorar la relación entre la optimización de la productividad y la gradiente de rampa proporcionará información valiosa para desarrollar estrategias de mejora y optimización en la unidad minera Alpamarca y otras operaciones mineras similares.

Justificación metodológica

El enfoque cualitativo y el diseño no experimental, transversal, son adecuados para este estudio, ya que permiten explorar la relación entre variables sin intervenir directamente en la realidad operativa de la mina. El análisis documental utilizando una guía de análisis es una técnica apropiada para recopilar información relevante sobre la productividad y la gradiente de rampa usada en la unidad minera Alpamarca. Al examinar documentos como informes operativos, registros de producción y datos de infraestructura minera, se puede obtener una comprensión profunda de cómo estas variables están relacionadas en el contexto específico de la mina.

Importancia

La importancia de este estudio radica en su capacidad para proporcionar información práctica y específica que puede utilizarse para mejorar la eficiencia operativa y la rentabilidad de la unidad minera Alpamarca. Al identificar cómo se relaciona la optimización de la productividad con la gradiente de rampa, se puede desarrollar estrategias y prácticas operativas más efectivas que maximicen el

rendimiento de la mina. Además, los hallazgos de este estudio pueden tener implicaciones más amplias para la industria minera en general, al ofrecer *insights* sobre cómo mejorar la gestión de la productividad en otros contextos similares. En última instancia, esta investigación contribuirá al avance del conocimiento en el campo de la gestión minera y al desarrollo de prácticas más sostenibles y eficientes en la industria.

1.6. Limitaciones

La disponibilidad y calidad de los datos pueden ser limitadas, lo que podría afectar la validez y confiabilidad del estudio. Dependiendo de la accesibilidad a la información relevante, puede ser difícil obtener datos precisos sobre la productividad y la gradiente de rampa en la unidad minera Alpamarca.

Factores externos, como cambios en las condiciones del mercado o en las políticas de la empresa, podrían influir en la productividad y la gradiente de rampa de manera impredecible, lo que dificultaría establecer una relación clara entre ambos.

1.7. Viabilidad del estudio

Si se cuenta con acceso a datos confiables y completos sobre la productividad y la gradiente de rampa en la unidad minera Alpamarca, el estudio puede ser viable, ya que proporcionaría una base sólida para el análisis cualitativo.

El uso de análisis documental y una guía de análisis puede facilitar la recopilación y el análisis de datos cualitativos, lo que aumenta la viabilidad del estudio al permitir una evaluación exhaustiva de la relación entre la optimización de la productividad y la gradiente de rampa.

1.8. Formulación de hipótesis

1.8.1. Hipótesis general

La gradiente de rampa optimizará el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023

1.8.2. Hipótesis específicas

- La optimización de la gradiente de rampa se relaciona con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023
- La eficiencia y el costo unitario de acarreo se relaciona con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023.
- La seguridad y la pendiente de rampa se relaciona con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023

1.9. Variables

1.9.1. Identificación de las variables

Variable independiente: Optimización de la gradiente de rampa

Variable dependiente: Incremento de la productividad

1.9.2. Definición conceptual y operacional de las variables

- **Variable independiente:** Optimización de la gradiente de rampa

Definición conceptual: La gradiente de rampa es un factor crítico que influye directamente en múltiples aspectos de la operación minera. Este parámetro, expresado típicamente en porcentajes o grados, impacta en la distancia a recorrer verticalmente, la velocidad alcanzada por los vehículos, y la potencia requerida por los motores. Estos cambios en la pendiente tienen repercusiones significativas en los tiempos de ciclo, el consumo de combustible, y el desgaste tanto de los caminos como de los equipos (Herrera, 2023).

- **Variable dependiente:** Incremento de la productividad

Definición conceptual: El incremento de la productividad en las empresas mineras requiere un enfoque integral que abarque desde la exploración y extracción hasta el procesamiento y transporte de minerales, aprovechando tecnologías y prácticas innovadoras para maximizar la eficiencia operativa y garantizar su competitividad en el mercado (Ramírez et al., 2022).

1.10. Operacionalización de las variables

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Independiente: Optimización de la gradiente de rampa	Se refiere principalmente al proceso de diseño y ajuste de la pendiente (gradiente) en rampas de minas a cielo abierto para maximizar el beneficio económico y operativo. (Tapia, 2020)	1. Eficiencia y eficacia operativa en rampas	1.1. Cumplimiento del plan de minado	Porcentaje
			1.2. Gradiente de la rampa	Porcentaje
			1.3 Calidad de diseño	Porcentaje
		2. Eficiencia y el costo unitario de acarreo	2.1. Costo unitario de producción en transporte	\$/ por ton-km
			2.2. Uso de equipos	Porcentaje
		3. Seguridad y la pendiente de rampa	3.1. Control de accidentabilidad	Tasa
			3.2. Cumplimiento de normas de seguridad	Porcentaje
			3.3. Seguridad del personal	Tasa

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Dependiente: Incremento de la productividad	El incremento de la productividad en minería se define como el aumento en la relación entre la producción de mineral extraído y los recursos utilizados, logrado mediante la reducción de tiempos de ciclo operativo y optimización de procesos. (Bastidas, 2020)	4. Factores operacionales del transporte usado	4.1. Distancia por recorrer	Km
			4.2. Velocidad alcanzable de los camiones por pendiente	km/h
			4.3. Potencia de motor requerida	Kilowatios (kW)
		5. Factores generales del transporte usado	5.1. Tiempos de ciclo	Minutos
			5.2. Consumo de combustible	Litros
			5.3. Desgaste de los caminos	Unidad cualitativa
			5.4. Desgaste de los equipos	Unidad cualitativa
		6. Factores operacionales de la rampa	6.1. Gradiente efectivo	Porcentaje
			6.2. Resistencia de Rodado	Porcentaje
			6.3. Tiempos del ciclo según la pendiente	Minutos
			6.4. Gradiente y distancia de frenado	Metros (m)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del trabajo de investigación

Antecedentes internacionales

Rivera (2023), en su estudio “Mejora de la productividad para la eficiencia operacional de la empresa Naturliquid S.A., en Salinas- Ecuador,” realizado en Ecuador, tuvo como fin la mejora de la productividad siguiendo un diseño de investigación cuantitativo, estudiando los factores implicados en la mejora productiva de la empresa NATURLIQUID S.A. Como resultado del análisis concluyó que se evidencia un cambio significativo en la reducción de tiempo de producción, siendo un aproximado a 65 minutos o un 10 % aproximadamente del total, centrándose más en la reducción del tiempo en la espera y transporte, aumentando la productividad en un 9,11 % y la eficiencia de utilización del tiempo en un 8,32 %. Por otro lado, el presupuesto de la inversión es de \$5600, el cual es recuperado en el mes #2 después de su aplicación.

Almache y Gordillo (2022), en su estudio “Optimización del proceso productivo en la empresa Prolase para el mejoramiento de la productividad mediante un estudio de tiempos,” tuvo como fin realizar una propuesta de

optimización de los procesos productivos en la empresa PROLASE para el mejoramiento de la productividad. Su metodología fue de tipo descriptiva además el método empleado fue el inductivo. Como resultado del análisis concluyó que se pudo mejorar la productividad del operario y la producción de la planta PROLASE en un 26 %, siendo beneficioso y una ganancia que ayudará en un futuro al crecimiento de la empresa.

Tapia (2020), en su estudio “Análisis del efecto del gradiente de rampa sobre el beneficio económico en minas a cielo abierto,” realizado en Chile, tuvo como fin comparar los resultados económicos del diseño operativo de rampas para distintas pendientes y en dos modelos de bloques, cada cual con su diseño, utilizando una herramienta semiautomática de generación de rampas, que utiliza un modelo de optimización económica mediante un modelo matemático. Su metodología fue de tipo básica y experimental. Como resultado del análisis concluyó que a medida que la pendiente aumenta, se ve afectado en menor medida la envolvente, donde el cambio en pendientes en valores cercanos al 10 % es similar, pero luego aumenta considerablemente al tener valores de 8 % y 7 %. Ello, se debe a que mientras más larga es la rampa, más impacto tiene sobre el ángulo de talud y, en menor medida, en la forma del pit.

Antecedentes nacionales

Herrera (2023), en su estudio “Análisis de rentabilidad al cambio de gradientes en rampas del tajo sur en el área de planeamiento de la Cía. Minera

Antapaccay, 2022,” tuvo como fin analizar los efectos económicos que tiene la elección de una gradiente de rampa del tajo sur en el área de planeamiento de la minera, en este caso se hará el análisis y comparación económica con una gradiente de rampa de 12 %, puesto que actualmente las rampas están diseñadas y construidas con gradientes de 10 %. Su metodología fue de tipo experimental. Como resultado del análisis concluyó que se calcularon los efectos económicos del cambio de gradiente de 10 a 12 %; en cuanto a rentabilidad en la Fase 05S se obtuvo un incremento de \$43, 853.00 millones de dólares con respecto al inicial y en la Fase 06S de \$8, 139.00 millones de dólares, pues en estas nuevas Fases intervinieron las condiciones de rampa, la profundidad y reservas que no se abarcaron en comparación a las Fases iniciales.

Díaz y Santamaria (2022), en su estudio “Gradiente óptima del nivel principal para incrementar la productividad de la mina Papote Minpar utilizando el Software Autocad - Retamas,” tuvo como fin diseñar la gradiente óptima del nivel principal para incrementar la productividad de la mina Papote Minpar - Retamas. Su metodología fue de tipo aplicada y su diseño fue no experimental. Como resultado del análisis concluyó que la gradiente optima es de $s=0.678\%$, lo cual no está dentro del porcentaje de acuerdo a la ley general de minería. La gradiente de una mina subterránea es de 5×1000 donde para llegar a ese dato se debe realizar el trabajo de corte y relleno para rehabilitar el terreno.

Valenzuela (2022), en su estudio “Gestión del ciclo de acarreo para optimizar la productividad operacional del tajo Ferrobamba del proyecto minero Las Bambas, 2016,” tuvo como fin identificar y mejorar las condiciones de acarreo para dinamizar el ciclo de minado y optimizar la productividad operacional del Tajo Ferrobamba en el Proyecto Minero Las Bambas, 2016. Su metodología fue de tipo experimental. Como resultado del análisis concluyó que al optimizar los tiempos variables disminuimos en 73 % los tiempos de acarreo; el mismo que tiene una relación directa con el incremento de la productividad. Al realizar el control de tiempos se tuvo un ciclo de acarreo de inicial de 33.6 minutos por hora, lo que representa 1.79 viajes por hora para una distancia de 3.5km. Y al mejorar las condiciones de diseño de la operación se disminuyó los tiempos fijos de acarreo vacío a 6.89 minutos y acarreo cargado a 15.26 minutos, teniendo un ciclo de acarreo de 29.82 minutos, lo cual indica 2.01 viajes por hora.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Mina Alpamarca

La Unidad Minera Alpamarca se localiza en la región Pasco, Perú, y constituye una operación a tajo abierto dedicada principalmente a la explotación de minerales polimetálicos, entre ellos zinc, plomo y plata. La geología de la zona se encuentra dominada por la denominada **Falla Negra**, estructura que controla la

mineralización y ha permitido el desarrollo de tajos de mediana extensión en los sectores Norte, Sur y Centro.

Figura 1

Vista de la mina



En términos litológicos, el yacimiento se encuentra hospedado en rocas volcánico-sedimentarias con alteraciones hidrotermales, las cuales han condicionado la presencia de zonas mineralizadas de alta ley. Según reportes del Ministerio de Energía y Minas (2023), Alpamarca ha mantenido una producción significativa de zinc y plata, consolidándose como uno de los activos relevantes en la minería polimetálica nacional.

La operación minera dispone de un sistema de **rampas de acarreo** que conecta los distintos niveles de los tajos hacia las plantas de procesamiento. Dichas rampas presentan pendientes que varían entre **7 % y 12,7 %**, con diseños de uno o dos carriles según el espacio disponible. Las pendientes más elevadas han generado dificultades operativas, como disminución del rendimiento de los volquetes, incremento en los tiempos de acarreo y mayores riesgos de seguridad.

Figura 2

Rampas Mineras



El transporte de material se realiza principalmente mediante **volquetes de acarreo** de distintas capacidades, entre ellos los modelos con placas ABU-790, BJU-797, BKR-899, ADR-839, AZK-741 y BJT-913, cuyas dimensiones promedio incluyen un ancho de 3,04 m, una altura de hasta 3,95 m y un largo aproximado de

9 m. Estos equipos constituyen la base del sistema logístico de la mina, garantizando el traslado de mineral y desmonte hacia las plantas.

Figura 3

Volquetes de acarreo



La infraestructura de rampas en Alpamarca es un elemento crítico en la operación, ya que condiciona el tiempo de ciclo, el consumo de combustible y la productividad diaria. Por ello, resulta imprescindible evaluar cómo la optimización de la gradiente puede incrementar la eficiencia operativa, mejorar la seguridad y reducir costos asociados al acarreo.

2.2.2. Optimización de la gradiente de rampa

La optimización empresarial es un proceso dinámico y constante que busca mejorar continuamente los procedimientos y operaciones. Implica un análisis exhaustivo para identificar áreas de oportunidad y diseñar soluciones efectivas que impulsen la eficiencia y la productividad (Valenzuela et al., 2024).

La eficacia de una empresa está estrechamente ligada a la calidad de sus procesos internos. Por lo tanto, la optimización de estos procesos se convierte en un factor crucial para alcanzar y mantener la competitividad en el mercado actual. Al optimizar los procesos, una empresa puede reducir costos, minimizar tiempos de producción y mejorar la calidad de sus productos o servicios, lo que le permite destacarse como líder en su sector.

La optimización no solo implica la mejora de los procesos operativos, sino también la implementación de tecnologías innovadoras, la capacitación del personal y la adopción de mejores prácticas empresariales. Además, requiere un enfoque proactivo y una mentalidad de mejora continua por parte de todos los miembros de la organización (Valenzuela et al., 2024).

En las últimas décadas, la productividad en las empresas ha experimentado una notable evolución, convirtiéndose en un aspecto crucial tanto para las economías desarrolladas como en desarrollo. Hoy en día, se considera que una organización es verdaderamente productiva cuando alcanza sus metas de manera

eficiente, minimizando los costos involucrados. Esta eficiencia no solo impulsa un crecimiento económico sostenible, sino que también eleva el nivel de vida de la sociedad en general (Ramírez et al., 2022).

Una empresa productiva no solo maximiza sus recursos, sino que también optimiza su proceso de producción para obtener resultados óptimos en el menor tiempo posible. Esta búsqueda de eficiencia no solo se traduce en mayores ganancias para la empresa, sino que también contribuye al desarrollo de ventajas competitivas sostenibles en un mercado cada vez más globalizado y competitivo.

Además, una mayor productividad empresarial puede tener un impacto positivo en la economía en su conjunto, generando empleo, aumentando los ingresos disponibles y estimulando la innovación y el progreso tecnológico. En última instancia, una economía impulsada por empresas altamente productivas tiende a ser más resistente a las fluctuaciones y más capaz de enfrentar los desafíos económicos y sociales.

Por lo tanto, la mejora continua de la productividad empresarial no solo es un objetivo deseable, sino también una necesidad imperante para el crecimiento y la prosperidad a largo plazo tanto a nivel empresarial como a nivel socioeconómico (Ramírez et al., 2022).

En síntesis, la optimización de la productividad en las empresas mineras requiere un enfoque integral que abarque desde la exploración y extracción hasta el

procesamiento y transporte de minerales, aprovechando tecnologías y prácticas innovadoras para maximizar la eficiencia operativa y garantizar su competitividad en el mercado (Ramírez et al., 2022).

2.2.2.1. Eficiencia y eficacia operativa en rampas

Maximizar la eficiencia operativa en el sector minero es una tarea crítica para garantizar su competitividad y sostenibilidad a largo plazo. La optimización de la productividad en las empresas mineras abarca una variedad de áreas clave que van desde la exploración y extracción hasta el procesamiento y transporte de minerales.

La eficiencia operativa es un pilar fundamental para el éxito de cualquier organización. Se refiere a la habilidad de la empresa para optimizar y perfeccionar todos los procesos involucrados en la producción de sus bienes o servicios, con el objetivo de alcanzar resultados óptimos en términos de costos, tiempo y calidad. Esto implica identificar áreas de mejora, implementar medidas para maximizar la productividad y minimizar el desperdicio, así como mantener altos estándares de calidad en todos los aspectos del negocio (Rengifo y Shuña, 2023).

2.2.2.1.1. Cumplimiento del plan de minado.

El cumplimiento del plan de minado se define como el seguimiento y la evaluación sistemática de la ejecución de las metas físicas y financieras establecidas en el plan minero (Hustrulid & Kuchta, 2013). Este proceso busca asegurar que la

operación maximice beneficios y gestione riesgos, adaptándose dinámicamente a las condiciones del entorno mediante controles proactivos (SME, 2011).

2.2.2.1.2. Gradiente de la rampa.

La gradiente de rampa se define como la inclinación longitudinal de un plano inclinado, expresada como la relación porcentual entre la altura a salvar y la distancia horizontal recorrida (Neufert & Neufert, 2019). Para garantizar la accesibilidad, esta relación debe ser inversamente proporcional a la longitud del tramo, estableciendo un estándar óptimo del 8 % para asegurar el desplazamiento autónomo y seguro del usuario (MVCS, 2019).

2.2.2.1.3. Calidad de diseño.

La calidad de diseño se define como el grado en que un conjunto de características inherentes a un proyecto cumple con los requisitos y expectativas de los usuarios finales (ISO, 2015). En el contexto de infraestructuras de movilidad, esta calidad no solo implica estética, sino la precisión técnica en parámetros como el gradiente y la materialidad, garantizando que el producto final sea funcional, seguro y eficiente (Papanek, 2019).

2.2.2.2. Eficiencia y el costo unitario de acarreo

Maximizar la eficiencia y el costo unitario de acarreo en el sector minero es un objetivo crucial para las empresas involucradas en esta industria. La eficiencia se refiere a la capacidad de utilizar los recursos disponibles de manera óptima para minimizar los costos y maximizar los beneficios. Por otro lado, Para obtener el

costo unitario de acarreo, se suman costos fijos (depreciación, salarios) y variables (combustible, peajes), dividiendo por la capacidad de carga y distancia; fórmulas comunes usan m³-km o TM-km. En contextos peruanos como minería (relacionado con tu experiencia en Anderson Mining), optimizarlo mejora la eficiencia operativa al reducir tiempos de ciclo y sobrecostos (Matos D. , 2020).

2.2.2.2.1. Costo unitario de producción en transporte

El costo unitario de producción en transporte representa el gasto total asociado a la generación de una unidad de servicio de transporte, como el movimiento de carga o pasajeros por distancia o volumen específico, calculado dividiendo todos los costos incurridos (fijos y variables) por la cantidad de unidades transportadas.

El análisis del costo unitario de producción en transporte implica examinar todos los gastos involucrados en la operación minera, desde la adquisición de maquinaria y equipos hasta los costos de mano de obra, mantenimiento, energía, transporte y otros costos operativos. Además, se deben considerar los costos asociados con la exploración y desarrollo de nuevas minas, así como los costos ambientales y de cumplimiento regulatorio (Reyes, 2023).

2.2.2.2.2. Uso de equipos

El uso de equipos se refiere a la gestión táctica y operativa de los recursos mecánicos o técnicos disponibles, orientada a maximizar la productividad y minimizar los tiempos muertos (Peurifoy et al., 2018). En el desarrollo de

infraestructuras con gradientes específicos, el uso de equipos no solo abarca la maquinaria de construcción, sino también la compatibilidad técnica entre las especificaciones de la rampa y los equipos de movilidad o transporte que circularán por ella, asegurando una operatividad continua y segura (Caterpillar, 2021).

2.2.2.3. Seguridad y la pendiente de rampa

La seguridad en operaciones mineras se define como el conjunto de prácticas, protocolos y normativas diseñadas para identificar, evaluar y controlar riesgos, protegiendo la vida, salud y bienestar de los trabajadores, así como preservando equipos y el medio ambiente. La pendiente de rampa, en este contexto, es el ángulo de inclinación máxima permitida en las rampas de acceso en minas a cielo abierto o subterráneas, expresado en porcentaje (ej. 8-12 %), que asegura estabilidad geotécnica, tracción de vehículos y prevención de deslizamientos o accidentes (Torres, 2025).

2.2.2.3.1. Control de accidentabilidad

Implica la identificación y mitigación de los riesgos presentes en el entorno laboral minero, desde la maquinaria pesada hasta las condiciones del terreno. Se requiere un enfoque meticuloso para evaluar los peligros potenciales y desarrollar estrategias efectivas para minimizar la ocurrencia de accidentes (Alania, 2023).

2.2.2.3.2. Cumplimiento de normas de seguridad

Es un requisito legal y ético en el sector minero. Las empresas deben adherirse a regulaciones estrictas destinadas a proteger la salud y la seguridad de

los empleados. Esto implica mantener estándares de seguridad actualizados, realizar inspecciones regulares y mantener una comunicación clara sobre los protocolos de seguridad (Alania, 2023).

2.2.2.3.3. Seguridad del personal

Los trabajadores mineros deben estar debidamente entrenados en el manejo seguro de equipos, la identificación de riesgos y los procedimientos de emergencia. La formación continua garantiza que los empleados estén al tanto de las últimas prácticas de seguridad y puedan responder efectivamente a situaciones de riesgo (Condezo, 2022).

2.2.3. Incremento de la productividad

Gradiente de rampa: Las rampas, son estructuras fundamentales en cualquier sitio de trabajo, especialmente en ambientes como el tajo. Su función principal radica en facilitar el acceso a los diversos sectores o frentes de trabajo dentro de la instalación.

Estas rampas no solo actúan como simples senderos, sino que también desempeñan un papel crucial en la logística y la eficiencia operativa. Al proporcionar una vía clara y segura para el tránsito de equipos y materiales, contribuyen significativamente a la productividad y la seguridad en el lugar de trabajo (Tagliari y Florio, 2023).

Diseñar y construir rampas adecuadas implica considerar una serie de factores, como la pendiente, el tipo de terreno, la capacidad de carga y las normativas de seguridad. Además, es importante mantenerlas en buen estado, para garantizar su funcionamiento óptimo y prevenir posibles accidentes o interrupciones en las operaciones.

El diseño y cálculo del ancho de una rampa minera implica consideraciones cruciales para garantizar el óptimo rendimiento de los equipos y la seguridad de la operación. No se trata solo de dimensiones físicas, sino de un análisis detallado que abarca la pendiente, el ancho y los radios de curvatura de cada tramo.

El ancho de la rampa debe ser lo suficientemente amplio para permitir el paso de los equipos de transporte sin restricciones, evitando posibles daños o riesgos durante la operación. Además, debe incorporar espacio adicional para caminos de transporte, medidas de seguridad y sistemas de drenaje. Es esencial considerar el tamaño de los vehículos que circularán por la rampa al determinar su ancho, así como las dimensiones de las bermas de seguridad y los canales de drenaje.

La gradiente de rampa es un factor crítico que influye directamente en múltiples aspectos de la operación minera. Este parámetro, expresado típicamente en porcentajes o grados, impacta en la distancia a recorrer verticalmente, la velocidad alcanzada por los vehículos, y la potencia requerida por los motores. Estos cambios en la pendiente tienen repercusiones significativas en los tiempos de

ciclo, el consumo de combustible, y el desgaste tanto de los caminos como de los equipos (Herrera, 2023).

2.2.3.1. Factores operacionales del transporte usado

El transporte en la industria minera es un componente crítico que influye en la eficiencia y seguridad de las operaciones. Los volquetes son la opción más común y eficiente para el transporte de materiales en el interior de una mina. Su rápida aceleración, gran capacidad de carga y costos de transporte económicos los convierten en la elección preferida. Su versatilidad es destacable, ya que el número de volquetes utilizados puede ajustarse fácilmente según las necesidades de producción. Esta flexibilidad permite adaptarse a los cambios en la demanda y optimizar la logística minera de manera eficaz (Soberanes, 2020).

2.2.3.1.1. Distancia por recorrer

La extensión del trayecto que deben realizar los camiones mineros es esencial, ya que no solo afecta el tiempo requerido para el transporte, sino también otros aspectos como el consumo de combustible, desgaste de los vehículos y planificación de la ruta (Ramos y Salomon, 2021).

2.2.3.1.2. Velocidad alcanzable de los camiones por pendiente

En terrenos con diferentes grados de inclinación, la velocidad a la que pueden operar los camiones mineros varía significativamente. Las pendientes pronunciadas pueden limitar la velocidad máxima alcanzable, lo que influye en los tiempos de transporte y en la planificación de la operación minera (Silva, 2024).

2.2.3.1.3. Potencia de motor requerida

La potencia del motor de los camiones mineros es crucial para superar obstáculos como pendientes pronunciadas y terrenos irregulares. La capacidad del motor afecta directamente la capacidad de carga, la eficiencia del combustible y la velocidad operativa en distintas condiciones de terreno (Tapia, Análisis del efecto del gradiente de rampa sobre el beneficio económico en minas a cielo abierto, 2020).

2.2.3.2. Factores generales del transporte usado

El transporte es vital para el movimiento eficiente de materiales y equipos en las operaciones mineras. Al analizar los factores generales del transporte utilizados en minería, es crucial considerar diversos aspectos que impactan en la productividad y rentabilidad de las operaciones mineras.

Al analizar los factores generales del transporte en la minería, es crucial considerar aspectos como los tiempos de ciclo, el consumo de combustible, el desgaste de los caminos y de los equipos. Abordar estos aspectos de manera efectiva puede ayudar a mejorar la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad de las operaciones mineras (Sanchez y Cruz, 2023).

2.2.3.2.1. Tiempos de ciclo

Son un elemento central a tener en cuenta. Estos tiempos comprenden desde la carga del material en el punto de extracción hasta su descarga en el lugar de

destino. Optimizar los tiempos de ciclo es fundamental para maximizar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados al transporte (Acuña, 2023).

2.2.3.2.2. Consumo de combustible

El alto consumo de combustible no solo representa un costo significativo para las operaciones mineras, sino que también tiene un impacto negativo en el medio ambiente. Por lo tanto, busca formas de reducir el consumo de combustible, ya sea a través de la implementación de tecnologías más eficientes o de prácticas operativas mejoradas, es crucial para mejorar la sostenibilidad de las operaciones mineras (Pipón y Flores, 2023).

2.2.3.2.3. Desgaste de los caminos

El desgaste de los caminos es un aspecto a considerar, ya que afecta tanto la eficiencia del transporte como la seguridad de los trabajadores. Los caminos mineros están sujetos a un intenso tráfico de vehículos pesados, lo que puede provocar un rápido deterioro de la infraestructura vial. Mantener los caminos en buenas condiciones es esencial para garantizar un transporte seguro y eficiente, así como para minimizar los costos de mantenimiento (Salas, 2023).

2.2.3.2.4. Desgaste de los equipos

Los vehículos utilizados en la minería están expuestos a condiciones severas que pueden provocar un desgaste prematuro de componentes clave. Realizar un mantenimiento regular y adecuado de los equipos es fundamental, para garantizar

su fiabilidad y prolongar su vida útil, lo que a su vez contribuye a la eficiencia operativa y la rentabilidad de las operaciones mineras (Salas, 2023).

2.2.3.3. Factores operacionales de la rampa

Los aspectos operativos de la rampa en la industria minera son cruciales para garantizar un flujo eficiente de operaciones. Entre estos aspectos, el gradiente efectivo y la resistencia de rodado juegan un papel fundamental.

2.2.3.3.1. Gradiente efectivo

Se refiere a la inclinación de la rampa que permite el transporte eficiente de material dentro de la mina. Un gradiente adecuado es esencial para maximizar la productividad y minimizar el desgaste de los equipos de transporte. Además, el gradiente efectivo también influye en la seguridad y la estabilidad de la rampa, evitando posibles deslizamientos o derrumbes (Tapia, Análisis del efecto del gradiente de rampa sobre el beneficio económico en minas a cielo abierto, 2020).

2.2.3.3.2. Resistencia de Rodado

Es otro factor crítico a considerar en el diseño y operación de una rampa minera. Esta resistencia se refiere a la fuerza necesaria para superar la fricción entre los neumáticos de los vehículos mineros y la superficie de la rampa. Una resistencia de rodado alta puede aumentar los tiempos de ciclo y el consumo de combustible, afectando negativamente la eficiencia operativa (Tapia, Análisis del efecto del gradiente de rampa sobre el beneficio económico en minas a cielo abierto, 2020).

2.2.3.3.3. Tiempos del ciclo según la pendiente

Los tiempos del ciclo varían según la pendiente de la rampa. En pendientes más pronunciadas, los vehículos pueden experimentar mayores tiempos de ciclo debido a la necesidad de reducir la velocidad para garantizar la seguridad y el control del equipo. Por lo tanto, es crucial considerar estos tiempos del ciclo al planificar las operaciones mineras y optimizar la eficiencia del transporte de material (Tapia, Análisis del efecto del gradiente de rampa sobre el beneficio económico en minas a cielo abierto, 2020).

2.2.3.3.4. Gradiente y distancia de frenado

La distancia de frenado es la longitud que recorre un automóvil desde que comienza a frenar hasta que se detiene. Esta distancia está en gran parte determinada por la velocidad del coche, ya que cuanto mayor sea la velocidad, mayor será la distancia que recorrerá el vehículo hasta frenar por completo. Por ejemplo, en suelo seco y a 50 km/h la distancia de frenado sería 9 metros. En cambio, a 120 km/h sería 90 metros.

2.3. Definición de términos

a. Carguío: Se refiere a la carga de material mineralizado extraído del yacimiento. El carguío se realiza en la zona de bermas, las que están especialmente diseñadas para esta actividad (Codelco Chile, s.f.).

- b. Densidad de carga:** Es la relación directa entre la densidad de un explosivo, medida en gramos por centímetro cúbico, y el diámetro de perforación definido en la faena minera (Codelco Chile, s.f.).
- c. Gradiente de rampa:** El gradiente de rampa o pendiente de rampa vertical es la inclinación que tiene la rampa y usualmente se mide en porcentaje, aunque también se puede medir en grados (Tapia, Análisis del efecto del gradiente de rampa sobre el beneficio económico en minas a cielo abierto, 2020).
- d. Gradiente efectivo:** Es el gradiente de la rampa a la cual se suma o resta la resistencia de rodado dependiendo si la rampa va en subida o bajada (Tapia, Análisis del efecto del gradiente de rampa sobre el beneficio económico en minas a cielo abierto, 2020).
- e. Máquinas herramientas:** Son un conjunto de sistemas que hacen funcionar una herramienta, que al actuar sobre un objeto en reposo o en movimiento le imprime características geométricas o mecánicas que no pueden ser realizadas con un trabajo manual (Codelco Chile, s.f.).
- f. Plan minero:** Programa de producción de corto, mediano y largo plazo de una faena minera, que contempla a lo menos el ritmo de producción (toneladas de mineral y estéril), sectores por explotar, leyes y destinos de los diferentes materiales que se extraen (Codelco Chile, s.f.).
- g. Planificación y diseño de rampas:** Se divide en cinco etapas: etapa de diseño básico, etapa de diseño geométrico, etapa de diseño estructural, etapa de diseño

funcional y etapa de diseño de mantenimiento y manejo (Tapia, Análisis del efecto del gradiente de rampa sobre el beneficio económico en minas a cielo abierto, 2020).

- h. Punto de extracción:** Espacio en forma de túnel que conecta con una batea por donde se extrae el mineral en una mina subterránea en el nivel de producción (Codelco Chile, s.f.).
- i. Tiempo de ciclo:** Es una medida de control de producción que representa el tiempo que demora un equipo en cargar el material, transportarlo a su destino, descargarlo y volver al lugar inicial donde cargó (Tapia, Análisis del efecto del gradiente de rampa sobre el beneficio económico en minas a cielo abierto, 2020).

2.4. Plano general de la Unidad Minera Alpamarca

La Unidad Minera Alpamarca, ubicada a más de 4,700 m.s.n.m. en la región de Junín, en el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán.

El planeamiento de minado de Alpamarca se caracteriza por ser multimetálico (Zinc, Plomo, Plata y Cobre) y adaptativo, ya que la unidad ha operado históricamente combinando métodos de superficie y subterráneos. Tiene yacimientos de tipo vetas y cuerpos de reemplazamiento tipo SKARN. Su planificación va por una secuencia de extracción por fases, donde se va a optimizar el movimiento de desmonte de acuerdo al tonelaje de mineral.

Alpamarca, cuenta con tres tajos en donde se realiza la extracción de mineral y su planta concentradora tiene una capacidad de tratamiento de 3,000 toneladas métricas diarias.

Además, la Unidad Minera Alpamarca opera bajo un sistema de recirculación de agua en su proceso metalúrgico, minimizando el consumo de agua fresca de fuentes naturales. Cuenta con tratamiento de aguas ácidas y domésticas para asegurar que cualquier descarga cumpla con los Límites Máximos Permisible (LMP) exigidos por la OEFA.

Características del Tajo Alpamarca:

- Cuenta con 3 tajos: Norte, Centro y Sur.
- Altura de banco: 10 metros
- Ángulo de talud: Roca competente 75°
- Cuenta con una flota de 6 – 7 volquetes de 37 tn
- Excavadoras: 2.1 m³ y 3.2 m³ (capacidad de cuchara)
- Perforadora DM45
- Perforadora EVERDIGM

Plano general – Tajo Alpamarca



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Planteamiento metodológico:

3.1.1. *Tipo y nivel de la investigación*

El tipo de investigación es **básica**.

La investigación **básica** se centra en la adquisición de conocimientos teóricos y conceptuales, sin una aplicación práctica inmediata. Su objetivo principal es comprender fenómenos y principios fundamentales (Alvarez, 2020).

El estudio se desarrolló con un nivel **correlacional**.

La investigación correlacional busca establecer si existe una relación entre dos o más variables, pero no se busca demostrar una causa y efecto. Se utilizan coeficientes de correlación para medir la fuerza y la dirección de las relaciones entre variables (Sucasaire, 2021).

3.1.2. *Diseño de la investigación*

El diseño de investigación es **no experimental**.

Un estudio no experimental es una investigación en la que el investigador observa y recopila datos sin intervenir o manipular

deliberadamente ninguna variable independiente. En otras palabras, en un estudio no experimental, el investigador no introduce cambios controlados en el entorno o en las condiciones de estudio para ver cómo afectan a las variables dependientes (Arias y Covinos, 2021).

El enfoque será **Cualitativo**.

3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Población

La población hace referencia al conjunto total de elementos o individuos que comparten una característica común y que constituyen el foco de estudio en una investigación (UNIR, 2023).

Para la presente investigación, la población estará conformada por las operaciones de equipos y rampas de la Unidad Minera Alpamarca.

3.2.2. Muestra

Una muestra es un subconjunto representativo de la población total que se selecciona con el propósito de realizar un estudio o una investigación (Torres et al., s.f.).

La muestra será el total de la población.

3.3. Equipos y materiales

Equipos

Para el desarrollo de la investigación se consideraron los siguientes equipos utilizados en la operación minera de la Unidad Minera Alpamarca:

Volquetes de acarreo, entre ellos, modelos con placas ABU-790, BJU-797, BKR-899, ADR-839, AZK-741 y BJT-913, cuyas dimensiones promedio incluyen un ancho de 3.04 m, altura de hasta 3.95 m y largo de hasta 9 m. Estos vehículos fueron esenciales para evaluar los parámetros operativos como el tonelaje transportado y los tiempos de ciclo.

Equipos de medición y monitoreo topográfico y operacional disponibles en campo, para obtener datos precisos sobre pendientes, distancias y tiempos.

Materiales

Se emplearon documentos técnicos, hojas de cálculo, reportes de producción trimestrales, estándares operativos internos de la empresa y guías de análisis para la recolección sistemática de la información.

3.4. Procedimiento de las pruebas realizadas

El procedimiento consistió en el análisis documental de las operaciones en distintas rampas de la Unidad Minera Alpamarca. Las pruebas no fueron de carácter experimental directo, sino de carácter observacional y retrospectivo, siguiendo un

diseño no experimental correlacional. Se recopilaron datos de producción y transporte de material durante los trimestres del año 2023.

Pasos seguidos en el procedimiento:

Selección de zonas de análisis: Se identificaron cuatro rampas en el Tajo Norte y cuatro en el Tajo Sur, con pendientes que variaban entre 7 % y 12,7 %, seleccionando zonas que permitieran contrastar resultados según el diseño de pendiente.

Recolección de datos: Se utilizaron reportes de producción y tablas operativas con información sobre número de viajes, tonelaje transportado, tiempos de ciclo y distancias de acarreo. Esta información fue organizada trimestralmente.

Organización y procesamiento: Los datos fueron sistematizados en hojas de Word y procesados mediante software de análisis estadístico para generar gráficos, tablas comparativas y correlaciones.

Medición de resultados: Se evaluaron indicadores como la distancia promedio recorrida, el tonelaje por guardia, el número de viajes por hora, el tiempo promedio de traslado y la pendiente de la rampa.

Análisis de correlación: Se aplicaron pruebas estadísticas (como el coeficiente de correlación de Spearman) para determinar la relación entre gradiente de rampa y variables como productividad, distancia y tonelaje.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

El análisis documental es un procedimiento científico ampliamente reconocido que sigue un proceso sistemático para investigar, recopilar, organizar, analizar e interpretar información relacionada con un tema específico. Esta metodología se emplea en diversos campos del conocimiento, desde la investigación académica hasta la gestión de información en empresas y organizaciones (Martínez et al., 2023).

Debido a ello, en el presente estudio se empleará el análisis documental.

3.5.2. Instrumentos

Una guía de análisis es un documento o conjunto de instrucciones que proporciona orientación sobre cómo analizar ciertos datos, información o situaciones (Martínez et al., 2023).

Para la recolección de datos se utilizó una guía de análisis documental, elaborada en base a los indicadores definidos en la operacionalización de variables. Esta guía permitió registrar de manera sistemática la información proveniente de reportes de producción, hojas operativas y documentos técnicos de la Unidad Minera Alpamarca.

3.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Se llevó a cabo la recopilación de información de las operaciones tomadas como población mediante el análisis de documentos. Se solicitó la autorización correspondiente a la entidad involucrada en el estudio, para asegurar su pleno conocimiento de los aspectos que deseamos evaluar, se obtuvo permiso con el fin de llevar a cabo el análisis.

Una vez obtenidos los datos, se procedió a transferir toda la información a hojas de Word para su análisis en base a la guía. Para llevar a cabo dicho procesamiento y analizar los resultados, se utilizará un software.

A partir de los datos procesados, se generarán gráficos y tablas, que facilitarán la visualización de los resultados y tener una comprensión más completa y precisa de los hallazgos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Descripción de las pruebas realizadas

En esta sección, describiremos las condiciones y metodologías de las pruebas realizadas en la unidad minera Alpamarca, lo que incluirá:

Selección de rampas: Para el diseño de las rampas principales en los Tajos de la Unidad Minera Alpamarca, se cumplió con el “Estándar rampas en tajos y depósitos de relaves antiguos (DR01)”, para lo cual tenemos la siguiente gráfica considerada para el diseño de rampas principales en los Tajos de la Unidad Minera Alpamarca.

Figura 5

Diseño de vía de doble carril

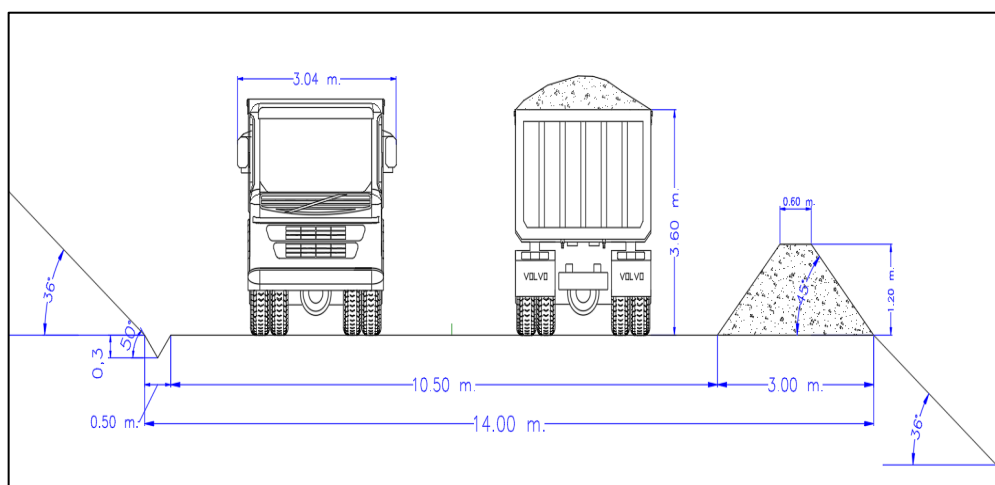


Figura 6

Diseño de vía de un solo carril

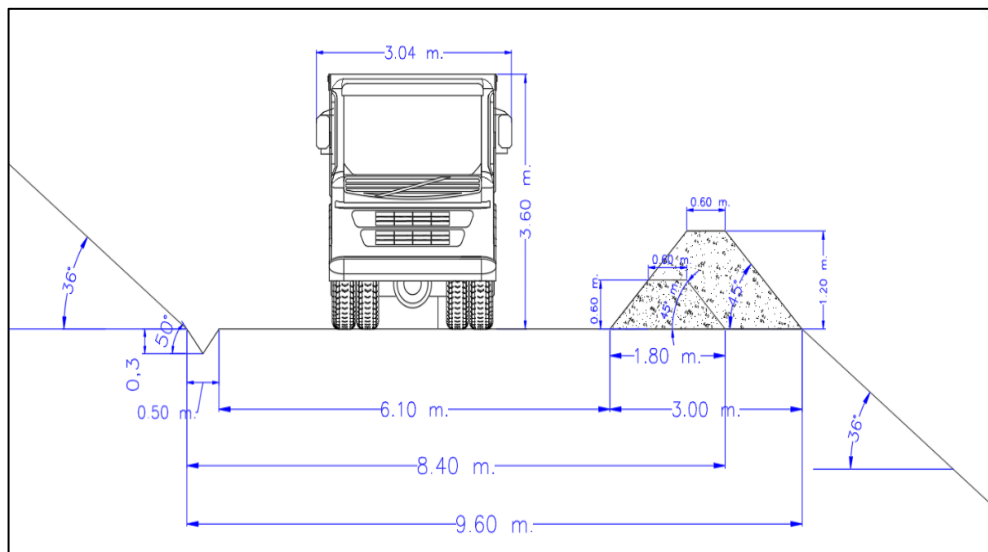


Tabla 3

Tabla de volquetes

Vehículo	Placa	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)
Volquete	ABU-790	3,04	3,7	8,67
Volquete	BJU-797	3,04	3,65	9
Volquete	BKR-899	3,04	3,95	8,75
Volquete	ADR-839	3,04	3,5	8,42
Volquete	AZK-741	3,04	3,55	8,6
Volquete	BJT-913	3,04	3,4	8,03

Nota. Según tabla 3, elaboración propia a partir de reportes técnicos de la Unidad Minera Alpacamarca (2023).

Figura 7

Diseño de radio de giro de rampa de dos carriles

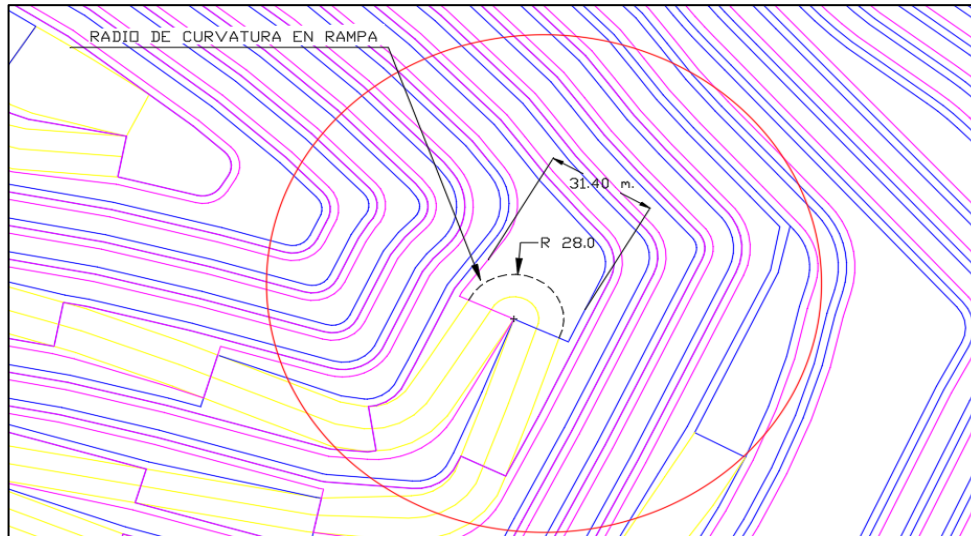


Figura 8

Tajo centro

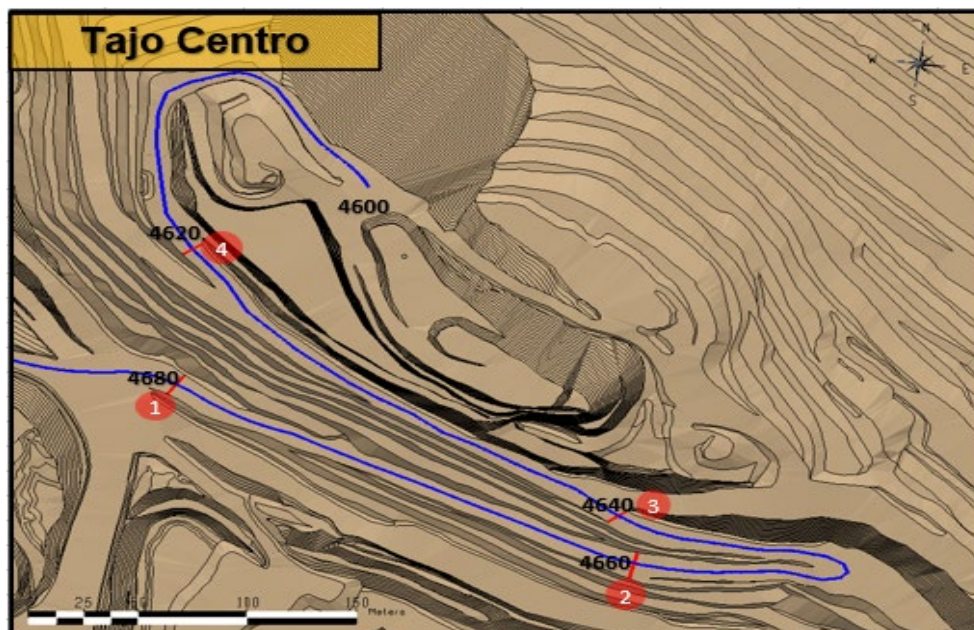


Tabla 4*Acceso a tajo centro*

Item	Ancho (m)	Berma (m)
1	14	1,2
2	16,5	
3	11	0,6
4	11	

Nota. Según tabla 4, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

Durante el primer trimestre del año 2023, se realizó la extracción de mineral y desmonte principalmente en Tajo Centro; siendo la parte superior del nivel 4680 hasta un nivel inferior de 4600, además las dimensiones del Tajo Centro son de 623 metros de largo y 309 metros de ancho, donde en el punto 1 y 2 son de doble vía; existe menos congestión, no existen colas y por lo tanto, es un tránsito más viable con una berma de seguridad de 1,20 metros; los puntos 3 y 4, se ajustan a una vía debido a la evaluación previa del área de geomecánica con una berma de seguridad del 0,60 metros.

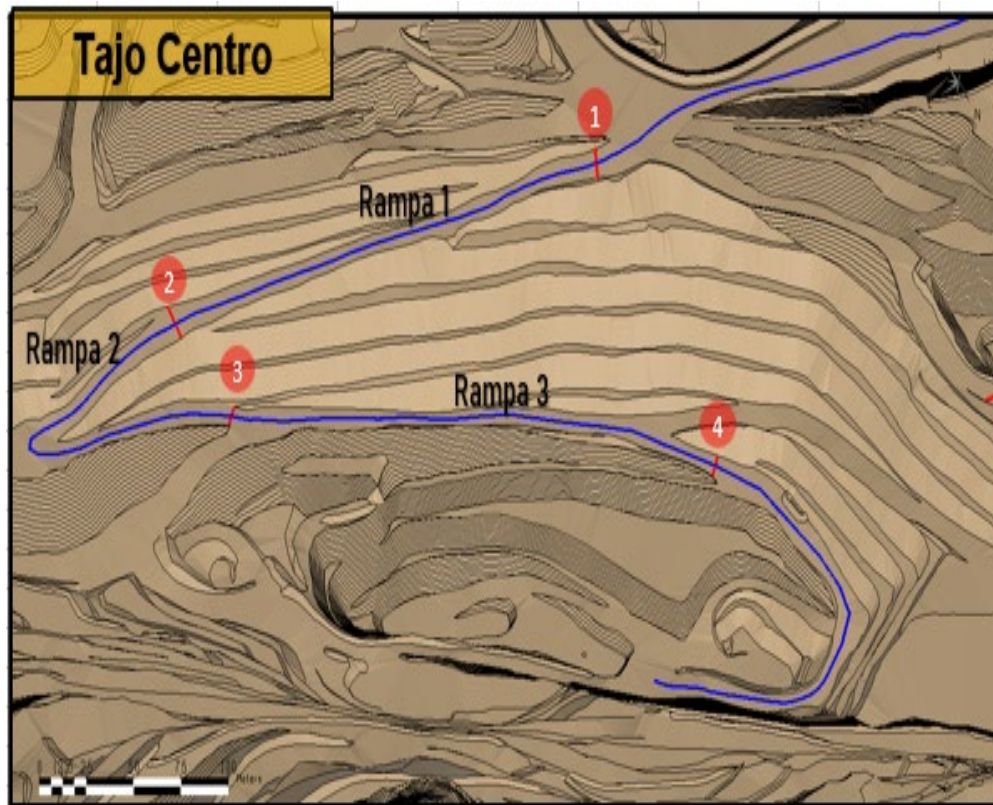
Tabla 5*Rampas principales*

Tramo	Distancia (m)	Pendiente %
Rampa 1	232	8
Rampa 2	84	6
Rampa 3	425	10

Nota. Según tabla 5, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

Figura 9

Tajo centro de rampas principales



Se mantuvo el diseño con 03 rampas principales con pendientes variadas desde el 8 – 10 % por ser más eficiente. Cabe resaltar que, durante el proceso de extracción, se tiene una ratio de 598,38 ton/guardia siendo el tiempo de traslado de mineral a Planta 29,68 min; además los reportes finales del primer trimestre del año son de 224,932.86 ton de mineral y 391,790.26 ton de desmonte.

Tabla 6

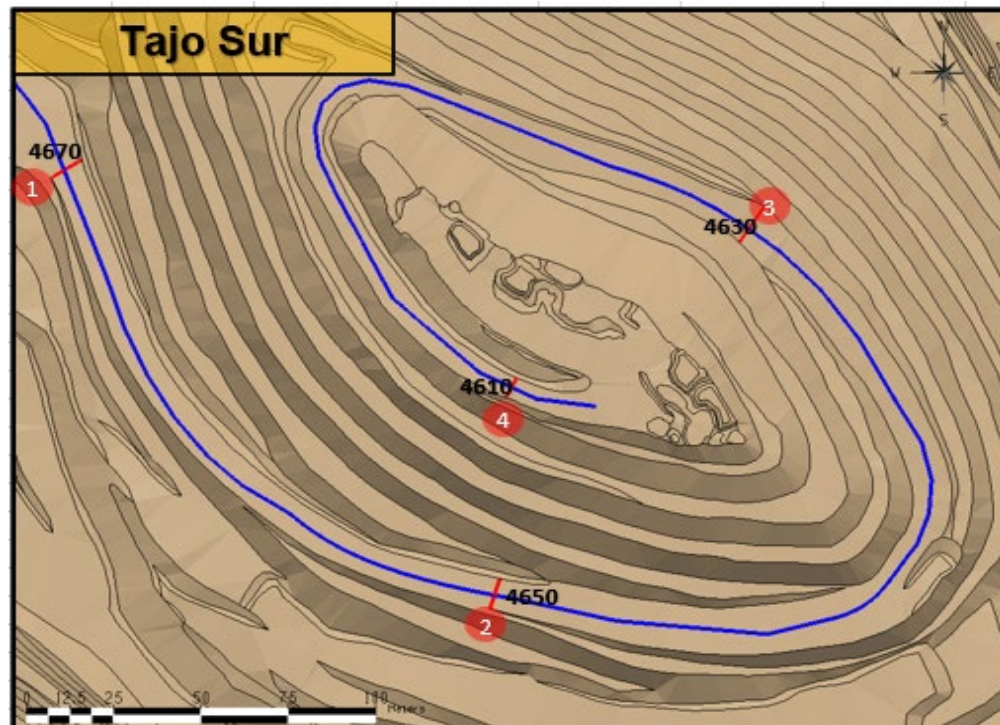
Acceso a tajo sur

Acceso tajo sur		
Ítem	Ancho (m)	Berma (m)
1	10	1,2
2	10	
3	10	
4	7	0,6

Nota. Según tabla 6, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

Figura 10

Tajo sur



En el segundo trimestre del año 2023, se tuvo 03 zonas de extracción las cuales son: Tajo Centro, Tajo Sur y Banco Minero.

El diseño de Tajo Centro, se mantuvo de acuerdo a lo que se trabajó en los primeros meses, no se modificó ninguna rampa principal. Sin embargo, en Tajo Sur se tiene desde el nivel 4670 hasta un nivel inferior de 4610, las dimensiones del Tajo Sur son de 250 metros de ancho y 390 metros de largo, convirtiéndose así en el Tajo más pequeño según sus dimensiones de la Unidad Minera Alpamarca.

Por otro lado, el ancho de rampa diseñado es de 10 m en general, por lo que se ajusta a un ancho para una sola vía y no un tránsito fluido (ida y vuelta al mismo tiempo). Sus bermas de seguridad según es estándar regularizador es de 1,20 metros a lo largo de la rampa variando a uno 60 centímetros al final de la rampa.

Tabla 7

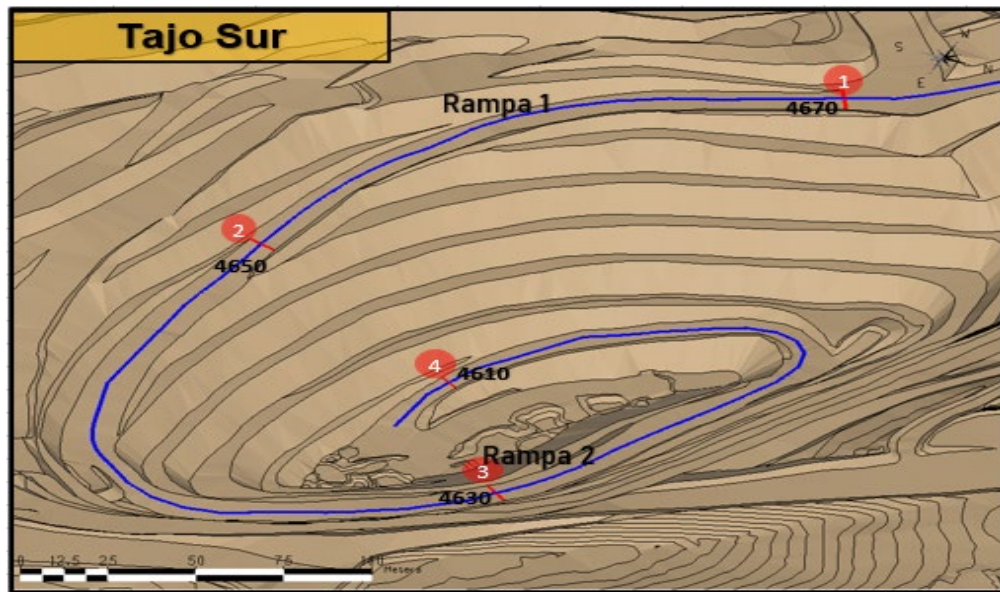
Rampas principales del Tajo Sur

Tramo	Distancia (m)	Pendiente %
Rampa 1	260	10
Rampa 2	200	10

Nota. Según tabla 7, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

Figura 11

Rampas del Tajo Sur



Finalmente, las rampas principales del Tajo Sur son del 10 %, siendo óptimos para la extracción de materiales tanto mineral como desmonte. El tiempo promedio de extracción del mineral a planta de 44,60 min, lo que generaba 398,21 ton/guardia.

Tabla 8

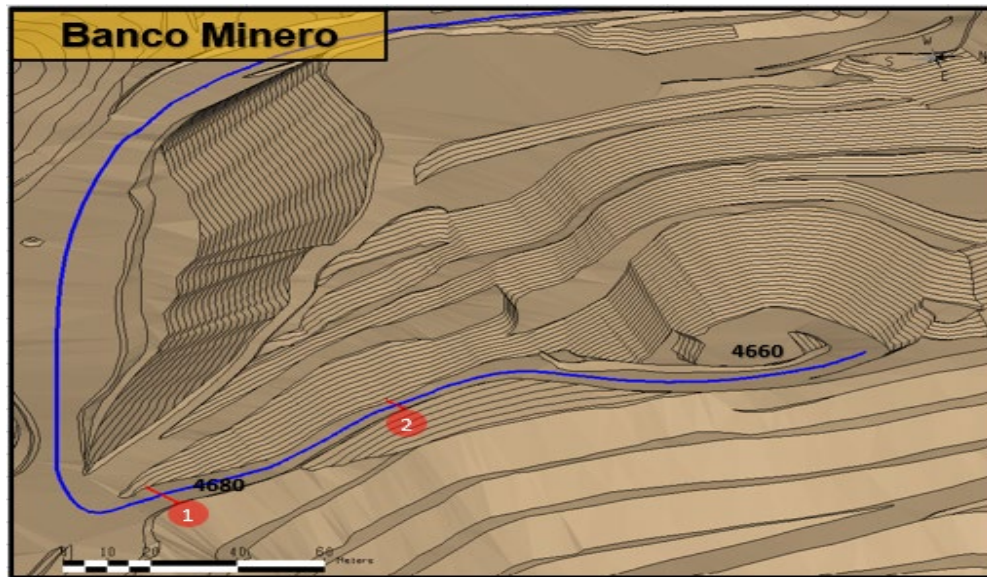
Acceso a Banco Minero

Acceso banco minero		
Item	Ancho (m)	Berma (m)
1	12,6	1,2
2	6	0,6

Nota. Según tabla 8, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

Figura 12

Banco Minero



En el Banco Minero no se tiene un diseño como un Tajo, debido a que su estructura es distinta, solo se extrajo material de la zona con leyes por encima de la ley de corte o cuando ayudaba a mantener mineral en stock pile 02.

El acceso cuenta con una angosta vía de 6 metros y la pendiente es mínima. El tiempo de extracción y traslado del mineral a Planta es de 19.21 min con una ratio de 924,72 ton/guardia.

Finalmente, reporta la cantidad de mineral en los meses de abril, mayo y junio es de 281,778.12 ton y 406,164.42 ton de desmonte.

Tabla 9

Acceso a Tajo Norte

Item	Ancho (m)	Berma (m)
1	16,5	1,2
2	6,5	
3	8,5	
4	17,5	
5	10	

Nota. Según tabla 9, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

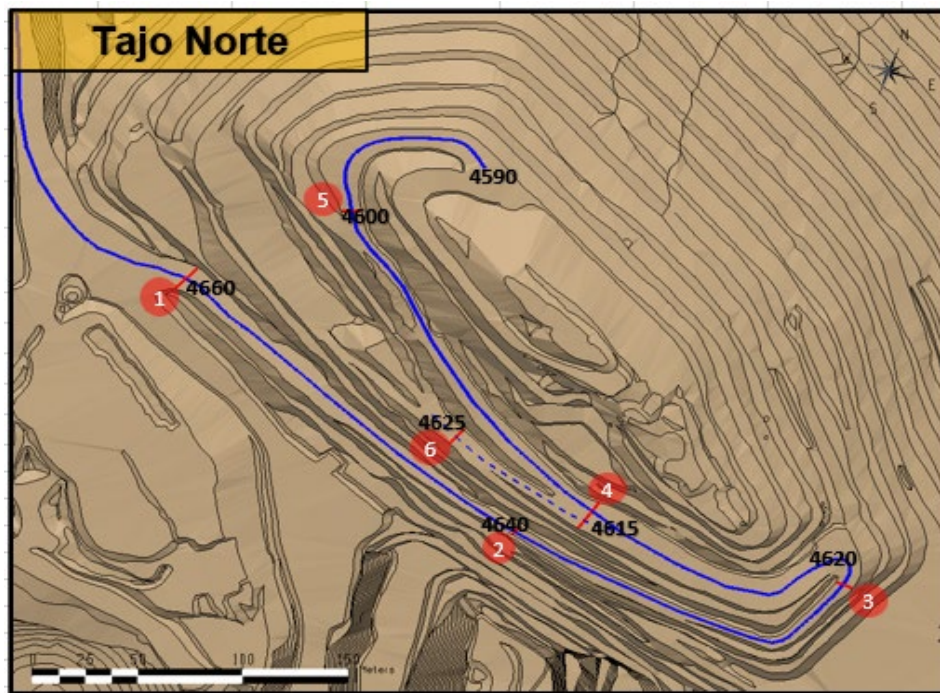
En el tercer trimestre del año 2023, se tuvo 03 zonas de extracción de mineral, además de los stocks pile; Banco Minero, Tajo Norte y Tajo Centro, manteniendo los diseños de las rampas principales y bajo los parámetros establecidos según el estándar de rampas en Tajos.

La extracción reportada de mineral en el periodo de julio, agosto y setiembre es de 268,574.38 ton y 411,978.56 ton de desmonte.

En el cuarto trimestre del año 2023, se tuvo la extracción de mineral y desmonte en 03 zonas: Banco Minero, Tajo Centro y Tajo Norte, donde las dos primeras zonas, mantienen el diseño en sus rampas principales, con todas las especificaciones.

Figura 13

Acceso a Tajo Norte



En la zona de Tajo Norte, es un tajo más peculiar, debido a que es el tajo con mayor extensión, con 285 metros de ancho y 450 metros de largo. La zona de mineralización es más rica en la zona sureste; por lo que, el diseño de la rampa principal se ve más ajustada en dicha zona con la finalidad de aprovechamiento del espacio; también se tiene zonas altas de buena mineralización en el nivel 4625, donde se plantea realizar un acceso principal con el objetivo de ampliar el Tajo norte hacia el noroeste.

Tabla 10

Relación de tramos Tajo Norte

Tramo	Distancia (m)	Pendiente %
Rampa 1	340	10
Rampa 2	64	12
Rampa 3	135	11,5
Rampa 4	85	12,7

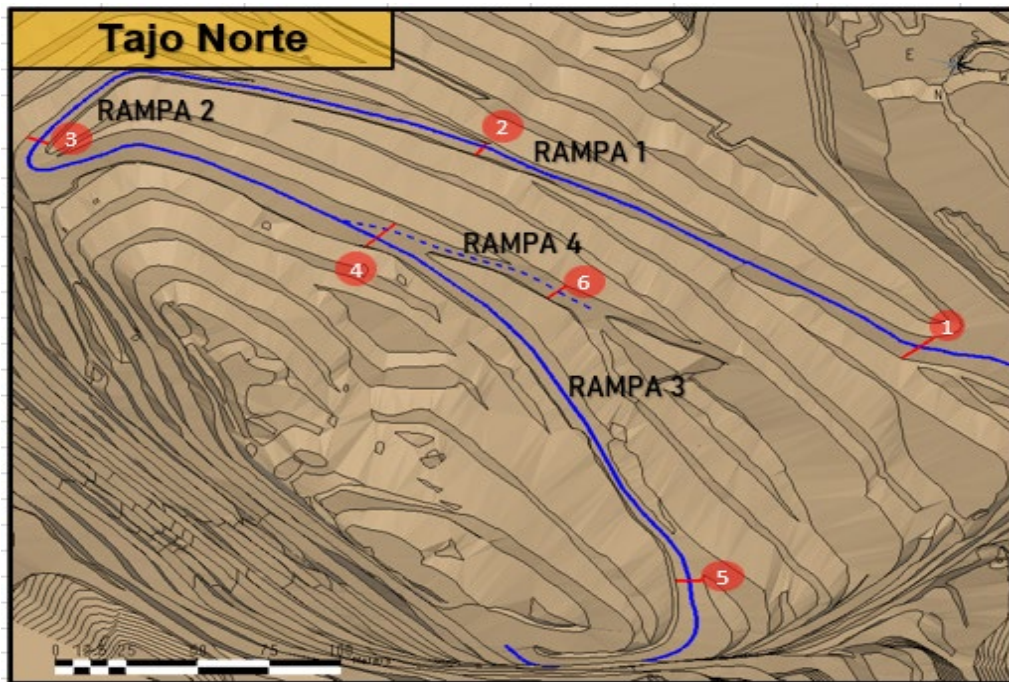
Nota. Según tabla 10, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

Como se muestra en la imagen, los diferentes anchos de vía que tiene la rampa son previo a un estudio y posteriormente a una aprobación del área de geomecánica, ya que también sugiere ángulos de talud.

Las pendientes en este Tajo Norte son muy variadas y en su mayoría son muy elevadas, por lo que bajan del nivel 4660 hasta el nivel 4590, en la rampa 1 se tiene una distancia de 340 metros con una pendiente de 10 %; para la rampa 2 se tiene un pequeño tramo, éste cambia de un nivel a otro; por lo que recibe el nombre de *switchback*, tiene un tramo de 64 metros y la pendiente más alta, 12 %, poniéndole al límite para que así se pueda aprovechar la extracción en dicha zona y en la rampa 3 se tiene una pendiente de 11,5 % en 135 metros.

Figura 14

Ampliación del Tajo Norte



Se propuso habilitar la zona de la rampa 4, donde lleva del nivel 4615 al nivel 4625, pero su pendiente se eleva al 12,7 % no cumpliendo así el estándar y provocando dificultad al de acceso para los volquetes que transiten en dicho acceso. La finalidad de ampliar el tajo norte hacia el lado noroeste tendría que ser factible con una pendiente inferior al 12 % en dicha zona, para que los volquetes puedan tener mejor eficiencia en el transporte de mineral.

Actualmente, con la rampa al 12 %. también se ve afectado en sus operaciones, el rendimiento de los volquetes ha bajado, se genera colas en el primer *switchback*, por lo que también, se requiere hacer una modificación en dicha zona.

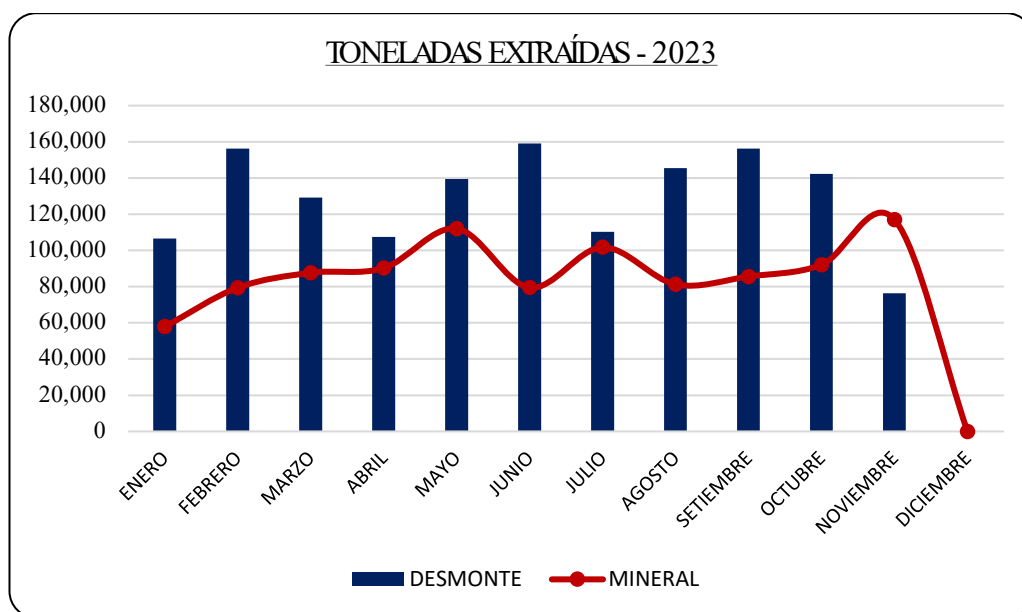
La ratio promedio es de 368,46 ton/guardia con un tiempo estimado de 48.20 min de la zona media del tajo hasta Planta, sumándose a los aspectos negativos el clima, entre otros.

Finalmente, en el último trimestre del año 2023 se reportó 209,143.56 ton de mineral y 218,726.06 ton de desmonte, menor cantidad debido a que se realizó parada de Planta en el mes de diciembre.

A continuación, se ven los cuadros de toneladas reales extraídas de mineral y desmonte en el año 2023, cabe resaltar que para el mes de diciembre se hizo una parada por planta, donde no hubo actividades en el tajo ni en planta.

Figura 15

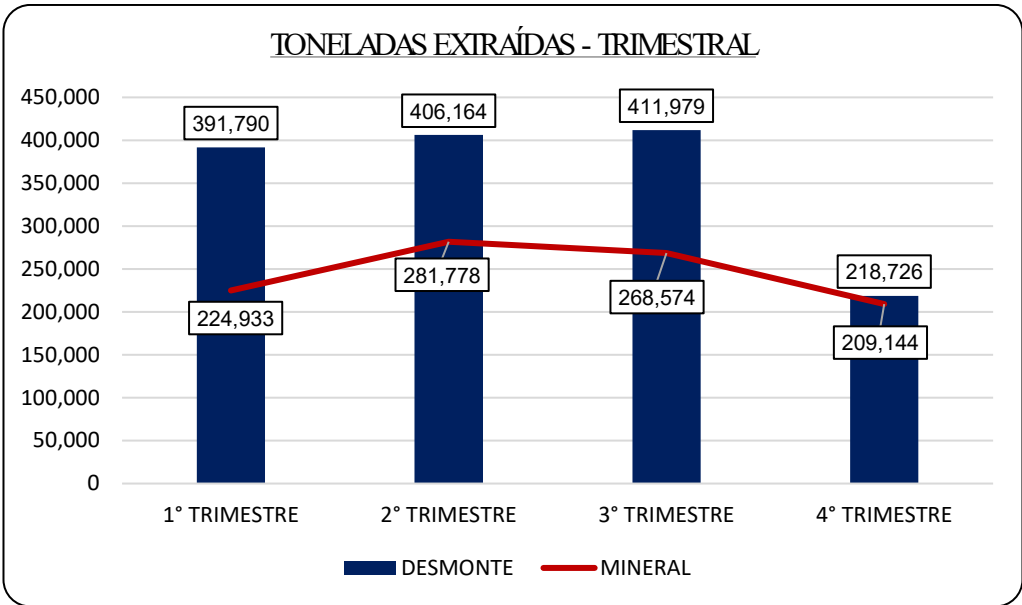
Toneladas extraídas



En el siguiente recuadro figura 14, se muestra las toneladas por trimestre extraídas, viendo la baja de extracción de material tanto mineral como desmonte a finales del año 2023, ya que la prioridad de esos dos meses fue extraer material del tajo norte, sin embargo, las condiciones climáticas no ayudaron, el acceso era reducido y las pendientes muy elevadas, por temas de seguridad se hicieron varias paradas de horas, también los volquetes tuvieron dificultades para el transporte de material, debido a que las pendientes eran muy pronunciadas y la lluvia no ayudaba.

Figura 16

Toneladas extraídas trimestral



Además, en la figura 15, para el control de accidentabilidad se tendrá en cuenta los documentos, para el cumplimiento de las reglas internas que tiene la empresa. Los reglamentos de minería aplicados son: Reglamento Interno de

Trabajo, Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional, Reglamento Interno de Tránsito, Código de conducta, Estándar de Gestión de Cambios y Estándar de Gestión de Consecuencias, entre los Decretos Supremos otorgados por el Organismo Supervisor de la inversión en Energía y Minas N.º 024-2016-EM, Ley N.º 29783 “Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo”, y su modificatoria Ley N.º 30222.

La Unidad Minera Alpamarca tiene para la sostenibilidad para la empresa a su personal como prioridad, su sistema de gestión está basado en la identificación continua de peligros y evaluación de riesgos, prevención de riesgos, desarrollo de aptitudes y el comportamiento de trabajo seguro de cada trabajador.

Por ello, es que, por cada actividad a realizarse, se hace una previa evaluación por parte del área de Seguridad. En su Reglamento Interno de Tránsito se tiene el siguiente recuadro:

Figura 17

Requisitos para ingreso a la mina

VOLCAN CIA MINERA S.A.A.														
Requisitos mínimos obligatorios para ingresar a interior mina	Estructura de protección contra la caída de objetos y volcaduras	Condiciones ergonómicas de la cabina	Alarma Pre-arranque	Sensor de puerta abierta	Cinturón de seguridad con sistema de control de apertura	Cámaras de video con alcance a 360° (2 monitores y 4 cámaras)	Cámaras de video de retroceso	Sistema supresor contra incendio	Cable de arrastre apantallado o SHD-GC	Tablero de alimentación de energía de acuerdo con Estándar ESO-VOL-MAN-02-01	Detección de fallos en sistema de frenos	Faro posterior de 2000 raw	Inclinómetro	Sistema de remolque y cabina de seguridad a distancia para scoops
Camioneta	✓		✓	✓	✓		✓					✓	✓	
Scaler	✓		✓	✓	✓			✓						
Scooptram	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓			✓*
Utilitario	✓		✓	✓	✓			✓			✓			
Robot lanzador de concreto	✓		✓		✓			✓			✓			
Mixer	✓		✓	✓	✓			✓			✓			
Dumper	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓					
Motonivelador a	✓		✓	✓	✓			✓			✓			
Minicargador	✓		✓	✓	✓			✓			✓			
Tractor oruga	✓		✓	✓	✓			✓						
Jumbo	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓				
Simba	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓				
Perforadora diamantina (aplica tipo ARC)	✓		✓		✓		✓	✓	✓	✓				
Empernador	✓+		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓				
Camión transporte de personal	✓+		✓	✓	✓		✓	✓			✓			
Bus transporte de personal	✓+		✓	✓	✓		✓	✓			✓			
Volquete	✓+	✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓		✓	
Cabletec	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓				
Camión grúa - grúa móvil	✓		✓	✓	✓		✓	✓			✓			
Camión cisterna abastecedor de combustible	✓+		✓	✓	✓		✓	✓			✓			
✓+	Memoria de cálculo de la estructura de protección contra la caída de objetos y volcadura, Gestión de cambio y Certificación													
✓*	Todos los scoop que trabajen en taladros largos deberán contar con este control													

Según figura 16, en este recuadro, se muestra los requisitos mínimos obligatorios que se tiene para ingresar a mina, en todas sus unidades mineras.

La cultura de Seguridad de la Unidad Minera Alpamarca, también está regida por un libro de Controles Críticos de los Protocolos de Peligros Mortales.

Este libro se basa en los principales riesgos por cada PPM y los controles aplicados respectivos.

Figura 18

Portada del libro de Controles críticos de campo por PPM



Nota. Según figura 17, se menciona la portada libro de controles críticos de campo por PPM.

Zonas de Prueba: La zona de prueba del tajo norte es como se muestra en la imagen, toda la vía ya que se cuenta hasta con 4 tramos diferentes de pendiente.

Datos Iniciales: Detalla las pendientes iniciales y cualquier otro dato relevante que describa el estado previo de las rampas.

Origen	Rampas	Pendiente
Tajo Norte	1	10,00 %
Tajo Norte	2	12,00 %
Tajo Norte	3	11,50 %
Tajo Norte	4	12,70 %

Nota. Elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

Origen	Rampas	Pendiente
Tajo Norte	1	8,90 %
Tajo Norte	2	10,00 %
Tajo Norte	3	10,5 %
Tajo Norte	4	8,50 %

Nota. Elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

Procedimientos de Optimización: Descripción de las intervenciones realizadas para optimizar las gradientes.

Métodos de Medición de Productividad: Cómo se midió la productividad antes y después de la optimización.

Método de operación: (Descripción del proceso operativo y de transporte documentado en "Data Total_2023.xlsx".)

Usando los datos de "Data Total_2023.xlsx", puedes analizar y presentar cómo la pendiente de las rampas afectó las operaciones. Aquí debes incluir:

Tabla 11

Data de la cantidad de viajes de transporte de mineral según número de banco del tajo – Primer Trimestre 2023.

Equipo	Capacidad	Zona de carguío	Nivel	Destino	Tipo de mat	Nº de viajes	Peso prom ton	Ton total	Distancia KM
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	13	34	442	3,5
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	14	34	476	3,5
VOL-80	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	12	34	408	3,5
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	14	34	476	3,5
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	12	34	408	3,5
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	12	34	408	3,5
VOL-80	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	12	34	408	3,5
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	12	34	408	3,5
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	9	34	306	3,5
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	8	34	272	3,5
VOL-80	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	9	34	306	3,5
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	8	34	272	3,5
VOL-77	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	8	34	272	3,7
VOL-85	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	8	34	272	3,5
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4590	Planta	Mineral	9	34	306	3,7
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	9	34	306	3,6
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	10	34	340	3,6
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	9	34	306	3,6
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	9	34	306	3,6
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	10	34	340	3,6
VOL-85	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	9	34	306	3,5
VOL-80	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	9	34	306	3,6
VOL-81	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	10	34	340	3,6
VOL-85	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	10	34	340	3,5
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	9	34	306	3,4
VOL-78	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	9	34	306	3,5
VOL-81	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	9	34	306	3,6
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	5	34	170	7,2
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	6	34	204	7,2
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	5	34	170	7,2

Nota. Según tabla 11. elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alparmarca (2023).

Tabla 12

Data de la cantidad de viajes de transporte de mineral según número de banco del tajo – Segundo Trimestre 2023.

Equipo	Capacidad	Zona de carguío	Nivel	Destino	Tipo de mat	Nº de viajes	Peso prom ton	Ton total	Distancia KM
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	13	34	442	3,5
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	14	34	476	3,5
VOL-80	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	12	34	408	3,5
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	14	34	476	3,5
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	12	34	408	3,5
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	12	34	408	3,5
VOL-80	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	12	34	408	3,5
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	12	34	408	3,5
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	9	34	306	3,5
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	8	34	272	3,5
VOL-80	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	9	34	306	3,5
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	8	34	272	3,5
VOL-77	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	8	34	272	3,7
VOL-85	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	8	34	272	3,5
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4590	Planta	Mineral	9	34	306	3,7
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	9	34	306	3,6
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	10	34	340	3,6
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	9	34	306	3,6
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	9	34	306	3,6
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	10	34	340	3,6
VOL-85	22 m3	Tajo Centro	4600	Planta	Mineral	9	34	306	3,5
VOL-80	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	9	34	306	3,6
VOL-81	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	10	34	340	3,6
VOL-85	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	10	34	340	3,5
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	9	34	306	3,4
VOL-78	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	9	34	306	3,5
VOL-81	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	9	34	306	3,6
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	5	34	170	7,2
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	6	34	204	7,2
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4595	Planta	Mineral	5	34	170	7,2

Nota. Según tabla 12, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

Tabla 13

Data de la cantidad de viajes de transporte de mineral según número de banco del tajo – Tercer Trimestre 2023.

Equipo	Capacidad	Zona de carguío	Nivel	Destino	Tipo de mat	N° de viajes	Peso prom	Ton total	Distancia KM
VOL-75	22 m3	Banco Minero	4675	Planta	Mineral	5	34	170	2,7
VOL-77	22 m3	Banco Minero	4675	Planta	Mineral	7	34	238	2,7
VOL-85	22 m3	Banco Minero	4675	Planta	Mineral	6	34	204	2,6
VOL-81	22 m3	Banco Minero	4670	Planta	Mineral	6	34	204	2,4
VOL-76	22 m3	Banco Minero	4670	Planta	Mineral	5	34	170	2,6
VOL-85	22 m3	Banco Minero	4665	Planta	Mineral	5	34	170	2,6
VOL-75	22 m3	Banco Minero	4655	Planta	Mineral	9	34	288	2,8
VOL-81	22 m3	Banco Minero	4655	Planta	Mineral	9	34	288	2,8
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4565	Planta	Mineral	6	34	204	3,7
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4565	Planta	Mineral	6	34	204	3,8
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4565	Planta	Mineral	6	34	204	3,7
VOL-77	22 m3	Tajo Centro	4565	Planta	Mineral	6	34	204	3,7
VOL-80	22 m3	Tajo Centro	4565	Planta	Mineral	6	34	204	3,8
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4565	Planta	Mineral	7	34	238	3,7
VOL-77	22 m3	Tajo Centro	4565	Planta	Mineral	7	34	238	3,8
VOL-80	22 m3	Tajo Centro	4565	Planta	Mineral	7	34	238	3,8
VOL-81	22 m3	Tajo Centro	4565	Planta	Mineral	7	34	238	3,8
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4560	Planta	Mineral	6	34	204	3,9
VOL-85	22 m3	Tajo Centro	4560	Planta	Mineral	6	34	204	3,9
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4560	Planta	Mineral	6	34	204	3,8
VOL-77	22 m3	Tajo Centro	4560	Planta	Mineral	6	34	204	3,8
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4560	Planta	Mineral	6	34	204	3,8
VOL-77	22 m3	Tajo Centro	4560	Planta	Mineral	7	34	238	3,8
VOL-80	22 m3	Tajo Centro	4560	Planta	Mineral	6	34	204	3,8
VOL-83	22 m3	Tajo Centro	4560	Planta	Mineral	6	34	204	3,8
VOL-75	22 m3	Tajo Centro	4560	Planta	Mineral	6	34	204	3,9
VOL-77	22 m3	Tajo Centro	4560	Planta	Mineral	6	34	204	3,9
VOL-81	22 m3	Tajo Centro	4560	Planta	Mineral	6	34	204	3,9
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	6	34	204	3,4
VOL-77	22 m3	Tajo Centro	4605	Planta	Mineral	6	34	204	3,5

Nota, Según tabla 13, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alparamarca (2023).

Tabla 14

*Data de la cantidad de viajes de transporte de mineral según número de banco del tajo –
Cuarto Trimestre 2023.*

Equipo	Capacidad	Zona de carguío	Nivel	Destino	Tipo de mat	N° de viajes	Peso prom ton	Ton total	Distancia KM
VOL-76	22 m3	Banco Minero	4655	Planta	Mineral	6	34	204	2,7
VOL-85	22 m3	Banco Minero	4655	Planta	Mineral	6	34	192	2,7
VOL-75	22 m3	Banco Minero	4655	Planta	Mineral	5	34	160	2,7
VOL-85	22 m3	Banco Minero	4650	Planta	Mineral	5	34	160	2,8
VOL-77	22 m3	Banco Minero	4645	Planta	Mineral	6	34	192	2,7
VOL-85	22 m3	Banco Minero	4645	Planta	Mineral	6	34	192	2,7
VOL-75	22 m3	Banco Minero	4645	Planta	Mineral	5	34	160	2,8
VOL-77	22 m3	Banco Minero	4645	Planta	Mineral	5	34	160	2,8
VOL-85	22 m3	Banco Minero	4645	Planta	Mineral	5	34	160	2,8
VOL-85	22 m3	Banco Minero	4645	Planta	Mineral	5	34	160	2,7
VOL-75	22 m3	Banco Minero	4665	Planta	Mineral	7	34	238	2,7
VOL-81	22 m3	Banco Minero	4665	Planta	Mineral	7	34	224	2,7
VOL-85	22 m3	Banco Minero	4665	Planta	Mineral	7	34	224	2,6
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4575	Planta	Mineral	7	34	224	3,6
VOL-76	22 m3	Tajo Centro	4575	Planta	Mineral	5	34	160	3,6
VOL-85	22 m3	Tajo Centro	4575	Planta	Mineral	7	34	224	3,6
VOL-77	22 m3	Tajo Centro	4590	Planta	Mineral	8	34	256	3,6
VOL-81	22 m3	Tajo Centro	4590	Planta	Mineral	8	34	256	3,6
VOL-75	22 m3	Tajo Norte	4585	Planta	Mineral	9	34	288	2,8
VOL-76	22 m3	Tajo Norte	4585	Planta	Mineral	6	34	192	2,8
VOL-77	22 m3	Tajo Norte	4585	Planta	Mineral	15	34	480	2,6
VOL-81	22 m3	Tajo Norte	4585	Planta	Mineral	14	34	448	2,8
VOL-85	22 m3	Tajo Norte	4585	Planta	Mineral	14	34	448	2,7
VOL-77	22 m3	Tajo Norte	4610	Planta	Mineral	6	34	192	2,5
VOL-81	22 m3	Tajo Norte	4610	Planta	Mineral	7	34	224	2,5
VOL-85	22 m3	Tajo Norte	4610	Planta	Mineral	8	34	256	2,5
VOL-85	22 m3	Tajo Norte	4610	Planta	Mineral	6	34	192	2,5
VOL-76	22 m3	Tajo Norte	4615	Planta	Mineral	5	34	160	2,4
VOL-76	22 m3	Tajo Norte	4615	Planta	Mineral	5	34	160	2,4
VOL-76	22 m3	Tajo Norte	4615	Planta	Mineral	5	34	160	2,4

Nota. Según tabla 14, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alparmarca (2023).

Dichos datos son referencia de costo en dólares por actividades realizadas dentro de la Unidad Minera Alparmarca.

Tabla 15

Precios unitarios \$

ALPAMARCA	Enero 2023	Febrero 2023	Marzo 2023	Abril 2023	Mayo 2023	Junio 2023	Agosto 2023	Setiembre 2023	Octubre 2023	Noviembre 2023	Diciembre 2023
Actividad	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL
Admin y Supervisión	1,378	951	753	1,022	1,306	783	406	865	859	851	842
Bombeo, Drenaje	1,625	2,599	2,977	4,378	4,040	1,996	1,799	1,799	1,799	1,799	1,799
Compra Energía	3,412	3,104	3,313	3,107	3,356	3,210	3,371	3,047	2,932	2,553	3,358
ManttoViasMina	2,530	3,450	3,810	3,660	4,860	4,135	4,500	4,500	4,220	4,175	3,340
Perforación	13	-	13								84
Servicio	36,535	823	18,821	26,562	10,409	8,512	-		1,128	114	2,658
Mantto de equipos	18,367	19,583	22,764	22,412	22,907	22,522	56,636	24,148	23,111	21,423	9,104
Transporte	109,049	200,170	178,892	173,945	216,361	194,200	195,271	169,947	176,577	191,408	186,025
Voladura	5,310	6,902	7,325	6,835	7,331	7,125	7,215	6,754	7,217	6,987	7,089

Nota. Según tabla 15, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alparmarca (2023).

Actividad	Ppto	Ppto	Ppto	Ppto	Ppto	Ppto	Ppto	Ppto	Ppto	Ppto	Ppto
Admin y Supervisión	676	676	732	713	732	713	732	732	713	732	713
Bombeo, Drenaje	4,618	4,618	4,618	4,618	4,618	4,618	4,618	4,618	4,618	4,618	4,618
Compra Energía	3,327	3,330	3,538	3,471	3,530	3,522	3,749	3,752	3,543	3,944	3,626
ManttoViasMina	4,666	4,666	5,160	6,025	6,211	6,025	6,211	6,211	6,025	6,211	5,006
Perforación											
Servicio											
Mantto de equipos	22,972	22,972	22,972	22,972	22,972	22,345	22,041	20,425	18,910	18,910	18,910
Transporte	139,808	134,958	147,201	146,381	145,307	147,030	142,407	112,745	100,874	94,770	96,401
Voladura	2,649	2,649	2,932	2,838	4,232	2,838	2,932	2,838	-	-	-

Tabla 16

Ratios tiempos vs ton guardia

1 volquete	Unidad	Tajo Centro - Planta	Banco Minero - Planta	Tajo Norte - Planta	Tajo Sur - Planta
Ciclo	min	29,68	19,21	48,20	44,60
Viaje x Volq	Ton	37,00	37,00	37,00	37,00
Viajes x Hr	Hr	2,02	3,12	1,24	1,35
Ton x Hr	Ton/Hr	74,80	115,59	46,06	49,78
Hr Efec	Hr	8,00	8,00	8,00	8,00
Ton / Guardia	Ton	598,38	924,72	368,46	398,21

Nota. Según tabla 16, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

4.2. Presentación y análisis de los resultados

Aquí analizaremos los datos operativos y su relación con las gradientes de las rampas:

4.2.1. Estadísticas Descriptivas:

- **Distancia km:** Media = 3,67 km, Mínimo = 2,4 km, Máximo = 4 km.
- **Nro. Viajes:** Media = 4,15, Mínimo = 1, Máximo = 14.
- **Tonelaje:** Media = 142,72, Mínimo = 34, Máximo = 484.
- Ahora, voy a cargar y limpiar el archivo "1. Resumen Gradientes_2023_2024.xlsx" para combinarlo con estos datos y analizar cómo las pendientes de las rampas afectan la productividad.

4.2.2. Estadísticas Descriptivas de Pendientes:

- **Pendiente:** Media = 0,0866, Mínimo = 0,046, Máximo = 0,105.

El siguiente paso será combinar estos datos de pendientes con los datos operativos que hemos limpiado previamente. Lo que nos permitirá analizar cómo las diferentes pendientes afectan variables operativas como el tonelaje, el número de viajes y la distancia recorrida.

Voy a realizar este proceso de combinación y luego procederé con el análisis correlacional para evaluar cómo la pendiente de la rampa podría estar afectando la productividad. Por lo que, se procede con la combinación ahora.

Figura 19

Tabla de ratios optimizados a partir de las mejoras en la gradiente.

1 Volquete	Unidad	Tajo Centro - Planta	Banco Minero - Planta	Tajo Norte - Planta	Tajo Sur - Planta
Ciclo	min	29,68	19,21	36,80	44,60
Viaje x Volq	Ton	37,00	37,00	37,00	37,00
Viajes x Hr	Hr	2,02	3,12	1,63	1,35
Ton x Hr	Ton/Hr	74,80	115,59	60,33	49,78
Hr Efec	Hr	8,00	8,00	9,00	8,00
Ton / Guardia	Ton	598,38	924,72	542,93	398,21

Nota. Según figura 18, elaboración propia a partir de reportes internos de la Unidad Minera Alpamarca (2023).

4.3. Análisis de eficiencia operativa:

4.3.1. Análisis de los Resultados

– **Pendiente vs. Distancia km:** Existe una correlación moderada (0,256), indicando que pendientes más suaves podrían estar asociadas con mayores distancias recorridas.

– **Pendiente vs. Tonelaje y Nro. Viajes:** Las correlaciones son relativamente bajas (0,086 y 0,085 respectivamente), sugiriendo que la pendiente tiene un efecto más limitado sobre el tonelaje transportado y el número de viajes, aunque el alto coeficiente entre tonelaje y número de viajes (0,999) muestra que estos dos factores están altamente interrelacionados.

Estos resultados podrían indicar, que mientras la pendiente tiene cierta influencia en la distancia de transporte, su impacto directo en la cantidad de material transportado y la frecuencia de viajes es menos significativo.

Comparación del tonelaje transportado, número de viajes, y distancia por pendiente de rampa.

Evaluación de la productividad basada en las diferencias en gradientes y su impacto en el rendimiento operativo.

Visualización de Datos:

Gráficos que muestren las mejoras en la productividad y la eficiencia a lo largo del tiempo.

Impacto financiero estimado:(aunque con limitaciones por falta de datos de costos específicos):

Suposiciones básicas sobre costos por distancia y cómo esto puede variar con diferentes gradientes.

4.4. Contrastación de hipótesis

4.4.1. Hipótesis general

La hipótesis de investigación formulada estableció que la optimización de la gradiente de rampa incrementa significativamente la productividad en la Unidad Minera Alpamarca.

Los resultados obtenidos muestran que, al reducir la pendiente de las rampas de valores cercanos al 12,7 % a rangos óptimos de 8 % a 10 %, se produjeron mejoras sustanciales en los indicadores operativos. El tiempo de ciclo se redujo de 48,2 minutos a 36,80 minutos, mientras que el tonelaje transportado se incrementó de 368,46 toneladas por día a 542,93 toneladas por día. Asimismo, los viajes por hora pasaron de 1,24 a 1,63, y la incidencia de incidentes reportados disminuyó de 2 casos a 0 durante el periodo de análisis.

Estos resultados concuerdan con lo planteado en estudios previos como el de Tapia (2020), quien identificó que pendientes mayores al 10 % generan

disminución en la eficiencia del acarreo, y con lo señalado por Herrera (2023), quien reportó situaciones similares en operaciones de tajo abierto en el Perú.

En consecuencia, los hallazgos de la investigación confirman la hipótesis planteada, demostrando que la optimización de la gradiente de rampa impacta positivamente en la productividad minera, mejorando tanto la eficiencia de los equipos de acarreo como la seguridad en las operaciones. Por tanto, la hipótesis queda contrastada y aceptada.

4.4.2. Primera hipótesis específica

La optimización de la gradiente de rampa se relaciona con el incremento de la productividad en la Unidad Minera Alpamarca, 2023.

Los resultados muestran que la adecuación de las rampas a pendientes cercanas al 8 % permitió reducir los tiempos de ciclo de 48,2 minutos a 36,80 minutos y aumentar los viajes por hora de 1,24 a 1,63. Este cambio se tradujo en un incremento del tonelaje transportado por día, que pasó de 368,46 toneladas a 542,93 toneladas. Estos hallazgos confirman que la optimización de la gradiente de rampa tiene una relación directa y positiva con la productividad minera, por lo que la hipótesis queda contrastada y aceptada.

4.4.3. Segunda hipótesis específica

La eficiencia y el costo unitario de acarreo se relaciona con el incremento de la productividad en la Unidad Minera Alpamarca, 2023.

El análisis de los reportes operativos evidenció que la mejora en las pendientes de rampa redujo el consumo de combustible y el desgaste de los equipos de acarreo, disminuyendo así los costos operativos. A pesar de no haberse cuantificado en términos monetarios en este estudio, los indicadores indirectos — como menor tiempo de ciclo, mayor tonelaje transportado y mayor aprovechamiento de horas efectivas— reflejan una mayor eficiencia en el uso de recursos. En consecuencia, se valida la hipótesis, concluyéndose que la eficiencia financiera está directamente relacionada con el incremento de la productividad.

4.4.4. Tercera hipótesis específica

La seguridad y la pendiente de rampa se relaciona con el incremento de la productividad en la Unidad Minera Alpamarca, 2023.

Durante el periodo de análisis, la optimización de las pendientes contribuyó a mejorar las condiciones de seguridad en la operación de acarreo. Se pasó de registrar 2 incidentes operativos en rampas con gradientes elevadas a 0 incidentes después de la optimización. Esto demuestra que el rediseño de rampas no solo repercute en mayor productividad, sino también en un entorno laboral más seguro y eficiente. Por tanto, la hipótesis se considera contrastada y aceptada.

4.5. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que la optimización de la gradiente de rampa en la Unidad Minera Alpamarca generó un impacto positivo y significativo en la productividad de las operaciones de acarreo. En particular, se evidenció que al reducir la pendiente de 12,7 % a valores comprendidos entre 8 % y 10 %, el tiempo de ciclo promedio disminuyó de 48,2 a 36,80 minutos, lo que permitió incrementar el número de viajes por hora de 1,24 a 1,63 y elevar el tonelaje transportado de 368,46 toneladas diarias a 542,93 toneladas. Estos resultados ratifican que el diseño geométrico de las rampas constituye un factor determinante en la eficiencia del transporte minero.

Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Tapia (2020), quien identificó que gradientes superiores al 10 % generan una reducción en la eficiencia del acarreo, al incrementar el consumo de combustible y disminuir la velocidad alcanzada por los volquetes. De manera similar, Yarmuch et al. (2020), sostienen que las pendientes óptimas en minas a tajo abierto deben mantenerse en el rango de 8 % a 10 % para equilibrar seguridad y productividad. La experiencia de Alpamarca confirma estos planteamientos, demostrando en un caso práctico que mantener pendientes moderadas mejora sustancialmente los indicadores operativos.

En términos de eficiencia y el costo unitario de acarreo, los resultados reflejan una mejora en el aprovechamiento de recursos. La reducción de los tiempos de ciclo permitió maximizar el uso de las horas efectivas de los equipos, mientras que la

disminución en la resistencia al rodado redujo el consumo de combustible. Aunque el estudio no incluyó un análisis económico detallado, estos indicadores indirectos evidencian una relación directa entre la optimización de rampas y la eficiencia financiera. En concordancia, Herrera (2023) reportó que en la Cía. Minera Antapaccay, pendientes superiores al 12 % derivaron en mayores costos operativos y menor disponibilidad de equipos, lo que coincide con lo observado en Alpamarca antes de la optimización.

La seguridad y la pendiente de rampa también mostraron mejoras importantes. Tras la optimización, no se registraron incidentes vinculados al acarreo, frente a los dos reportados previamente en condiciones de mayor pendiente. Esta reducción de riesgos concuerda con lo descrito por la Organización Internacional del Trabajo (2022), que advierte sobre la necesidad de implementar medidas técnicas que reduzcan la exposición a accidentes en faenas de alto riesgo, como las operaciones de acarreo en rampas prolongadas. En el caso de Alpamarca, la reducción de pendientes no solo mejoró la productividad, sino que también fortaleció la seguridad operativa, confirmando que ambos aspectos están estrechamente relacionados.

Finalmente, la comparación de indicadores antes y después de la optimización muestra una mejora integral en los factores de la operacionalización de variables: eficiencia operativa, costo unitario de acarreo y seguridad. Esto coincide con lo planteado en estudios previos y aporta evidencia local que refuerza la teoría

internacional sobre el impacto de las pendientes de rampa en la productividad minera. En consecuencia, se puede afirmar que los objetivos de la investigación se han cumplido y que la hipótesis general, así como las específicas, quedan plenamente confirmadas.

CONCLUSIONES

La optimización de la gradiente de rampa en la Unidad Minera Alpamarca permitió demostrar que la adecuación de pendientes entre 8 % y 10 % contribuye de manera significativa al incremento de la productividad. Este resultado confirma la hipótesis general planteada y cumple con el objetivo principal del estudio.

Los resultados evidenciaron que la mejora en las rampas redujo el tiempo de ciclo de 48.20 minutos a 36.80 minutos y aumentó los viajes por hora de 1.24 viajes a 1.63 viajes, lo que validó la relación entre el diseño geométrico de la vía y la eficiencia operativa. De esta forma, se cumplió el primer objetivo específico.

Asimismo, se identificó que la reducción en el consumo de combustible y el mejor aprovechamiento de horas efectivas repercutieron favorablemente en la eficiencia y el costo unitario de acarreo, lo cual respalda el segundo objetivo específico.

Finalmente, la disminución de incidentes en las operaciones de acarreo, se pasó a registrar 2 incidentes operativos en rampas con gradientes elevadas a 0 incidentes después de la optimización, lo que confirma la importancia de la seguridad y la pendiente de rampa en el incremento de la productividad, alcanzando el tercer objetivo específico de la investigación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que la Unidad Minera Alpamarca mantenga gradientes de rampa en un rango de 8 % a 10 %, ya que ello asegura un equilibrio entre productividad y seguridad.

Es aconsejable implementar un monitoreo permanente de indicadores operativos y financieros asociados al acarreo, de manera que se puedan realizar ajustes oportunos que mantengan la eficiencia observada en el presente estudio.

Se sugiere fortalecer los programas de capacitación y gestión de riesgos dirigidos al personal operativo, para consolidar las mejoras alcanzadas en la seguridad de las operaciones.

Finalmente, se recomienda replicar este modelo de optimización de rampas en otras unidades mineras de características similares, con el fin de validar su aplicabilidad en diferentes contextos productivos y reforzar la evidencia sobre su impacto en la productividad minera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, E. (2023). *Evaluación de la Distribución de Tiempos en el Ciclo de Minado de la Cámara 1 - Nivel 3175 Marsa en el año 2021*. Obtenido de UNC: <http://190.116.36.86/handle/20.500.14074/5561>
- Adrianzen, G. (2023). *Sector minero peruano: crecimiento sostenido en 2023*. Obtenido de Deloitte Perú: <https://www2.deloitte.com/pe/es/pages/energy-and-resources/articles/crecimiento-sostenido-en-2023-sector-minero.html>
- Alania, D. (2023). *Identificación de riesgos críticos de seguridad en perforaciones diamantinas subterráneas para el control de accidentabilidad en Consorcio Minero Horizonte S.A.* Obtenido de UNCP: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10124>
- Almache y Gordillo. (2022). *Optimización del proceso productivo en la empresa Prolase para el mejoramiento de la productividad mediante un estudio de tiempos*. Obtenido de Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9227>
- Alvarez, A. (2020). *Clasificación de las Investigaciones*. Obtenido de Universidad de Lima : <https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10818/Nota%20Acad%C3%A9mica%20C%20-%20Clasificaci%C3%B3n%20de%20Investigaciones.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Arias y Covinos. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Obtenido de Editorial: Enfoques Consulting EIRL.: <http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2260>
- Bastidas, I. (2020). *Mejoramiento del ciclo de minado para incrementar productividad en la Unidad Operativa Untuca - empresa Cori Puno S.A.C.-*

2020. Obtenido de Universidad Nacional del Centro del Perú:
<https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e5ad3476-fd93-41d2-8356-c5a738fb9409/content>

Bernabe y Herrera. (2023). *Diseño de un sistema de seguridad de procesos para reducir riesgos en una planta industrial en el sector de hidrocarburos, Lima 2023*. Obtenido de UCV:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/135125>

Codelco Chile. (s.f.). *Glosario*. Obtenido de Codelco Chile:
<https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/glosario.html>

Condezo, D. (2022). *Reglamento interno de seguridad y salud ocupacional y su influencia en desempeño laboral en Mina Yauricocha Sociedad Minera Corona – 2022*. Obtenido de UNCP:
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8757>

Díaz y Santamaria. (2022). *Gradiente óptima del nivel principal para incrementar la productividad de la mina Papote Minpar utilizando el Software Autocad - Retamas*. Obtenido de UCV:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/114355>

Fernandez, J. (2023). *Gestión de operaciones y su relación con la productividad de la Minera Sierra Antapite 2023*. Obtenido de UNCP:
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9759>

Herrera, J. (2023). *Análisis de rentabilidad al cambio de gradientes en rampas del tajo sur en el área de planeamiento de la Cía. Minera Antapaccay, 2022*. Obtenido de UNDAC:
http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4063/1/T026_70333519_T.pdf

- Maguiña, A. (2023). *Optimización del sistema de transporte en la rampa 400 mina Hércules CÍA. Minera Lincuna S.A. – 2022*. Obtenido de UNASAM: <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5924>
- Martínez et al. (2023). *Guía para la revisión y el análisis documental: propuesta desde el enfoque investigativo*. Obtenido de RA XIMHAI: https://www.researchgate.net/publication/369385707_Guia_para_la_Revisi_ion_y_el_Analisis_Documental_Propuesta_desde_el_Enfoque_Investigati_vo/link/6419d1a866f8522c38c211b7/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7Im_ZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0a
- Matos, A. (2022). *Optimización hora/hombre en la instalación de puertas enrollables en la empresa Cassado S. A. año 2022*. Obtenido de UPN: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/32387>
- Matos, D. (2020). *Reducción de costos unitarios de carguío y acarreo mediante programación de equipos Mina - Corihuarmi*. Obtenido de Universidad Nacional del Centro del Perú: <https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a775a9a1-b864-43e8-8769-90e67cde192c/content>
- Medina, K. (2023). *Riesgos laborales y su influencia en la productividad de la ECM. Ajani–Minera Aruntani, 2023*. Obtenido de UNCP: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9929>
- Medrano y Gonzáles. (2023). *Modelo de mejora de la eficiencia de la tasa de perforación de tipo diamantina de suelos en una empresa del sector minero mediante uso de herramientas de la metodología Lean Manufacturing*. Obtenido de Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC): <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/671451>

- OIT. (2022). *Los aumentos de la productividad del sector minero menoscabados por los accidentes del trabajo y las enfermedades profesionales*. Obtenido de Oficina Internacional del Trabajo (OIT): https://ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_071414/lang--es/index.htm
- Ordaya y Panduro. (2023). *Análisis del costo de producción y el margen de ganancia en la empresa PERUSSA S.A.C. Huachipa, 2022*. Obtenido de UCV: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/126150>
- Pipón y Flores. (2023). *Fuel optimizer solution : Servicio de optimización de combustible en camiones de transporte en minería*. Obtenido de Universidad de Chile: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/196634>
- Ramírez et al. (2022). *Productividad, aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la producción científica*. Obtenido de Trascender, contabilidad y gestión: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-63882022000200189
- Ramos y Salomon. (2021). *Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la Unidad Minera Andaychagua*. Obtenido de Universidad Continental: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10193>
- Rengifo y Shuña. (2023). *Gestión de almacén y su incidencia en la eficiencia operativa de la distribución de medicamentos en la DIRESA, Ucayali - 2023*. Obtenido de Repositorio Institucional UNU: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/6928>
- Reyes, P. (2023). *Implementacion de indicadores de gestion para mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de produccion y reducir los costos operativos en la compañía minera Summa Gold Corporation s.a.c – 2020*.

- Obtenido de UNASAM:
<https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5886>
- Rivera, F. (2023). *Mejora de la productividad para la eficiencia operacional de la empresa Naturliquid S.A., en Salinas- Ecuador*. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena:
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10614/1/UPSE-TII-2023-0034.pdf>
- Salas, D. (2023). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo por ciclos operativos del filtro Larox de cobre concentradora C1 para la empresa Sociedad Minera Cerro Verde*. Obtenido de Universidad Continental:
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12727>
- Sanchez y Cruz. (2023). *Simulación de la estimación de tiempos variables de acarreo y movimiento de tierras utilizando el software TALPAC en la etapa de cierre de mina de la Unidad Minera Florencia TUCARI*. Obtenido de UTP: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/7151>
- Saraza, V. (2023). *El uso de horas hombre en el sector minero es esencial para medir la productividad y eficiencia de las operaciones*. . Obtenido de Universidad Católica de Santa María:
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/a48a38cb-e263-47e2-a186-bb846909364c>
- Silva, R. (2024). *Optimización de KPI's de carguío y acarreo para incrementar la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba, Mina Las Bambas, Cotabambas – 2023*. Obtenido de Unamba:
<https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1370>
- Soberanes, B. (2020). *Análisis de los factores operacionales y su influencia en la productividad del proceso de transporte de mineral y desmonte en el NV*

4025 de la Compañía Minera Argentum, UEA codiciada 2019. Obtenido de Universidad Continental:
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8183/3/IV_FIN_110_TE_Soberanes_Lopez_2020.pdf

Sucasaire, J. (2021). *Estadística descriptiva para trabajos de investigación.* Obtenido de Depósito Legal en la Biblioteca Nacional:
https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/2241/3/Estad%C3%ADstica_descriptiva_para_trabajos_de_investigaci%C3%B3n.pdf

Tagliari y Florio. (2023). *El diseño de rampa en la arquitectura de Vilanova Artigas.* Obtenido de Revista de Arquitectura, 25(2):
<https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/4562/4573>

Tapia, G. (2020). *Análisis del efecto del gradiente de rampa sobre el beneficio económico en minas a cielo abierto.* Obtenido de Uchile:
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/179653>

Tapia, G. (2020). *Análisis del efecto del gradiente de rampa sobre el beneficio económico en minas a cielo abierto.* Obtenido de Universidad de Chile:
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/179653/Analisis-del-efecto-del-gradiente-de-rampa-sobre-el-beneficio-economico-en-minas-a-cielo-abierto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Torres et al. (s.f.). *Tamaño de una muestra para una investigación de mercado.* Obtenido de Universidad Rafael Landívar:
http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL_02_BAS02%20DETERMINACION%20TAMA%C3%91O%20MUESTRA.pdf

Torres, M. (2025). *La seguridad minera y prevención de riesgos laborales.* Obtenido de ERP de Control y Gestión de Negocios:

<https://erpmagistra.com/blog/seguridad-minera-prevencion-riesgos-laborales/>

UNIR. (2023). *Tipos de muestreo: los principales y sus características*. Obtenido de UNIR - Universidad Internacional de La Rioja: <https://www.unir.net/ingenieria/revista/tipos-de-muestreo/>

Valenzuela et al. (2024). *Optimización de procesos administrativos: estrategias para incrementar la eficiencia organizacional*. Obtenido de Revista Gestion: <https://revistap.ejeutap.edu.co/index.php/Gestion/article/view/97>

Valenzuela, J. (2022). *Gestión del ciclo de acarreo para optimizar la productividad operacional del tajo Ferrobamba del proyecto minero Las Bambas, 2016*. Obtenido de Unamba: <https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1084>

Zegarra, R. (2023). *Auditoría del Sistema Integrado de Gestión y la eficacia del sector minero 2018*. Obtenido de UNMSM: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/20828>

Peurifoy, R. L., Schexnayder, C. J., Schmitt, R. L., & Aviad, S. (2018). *Construction Planning, Equipment, and Methods* (9.^a ed.). McGraw-Hill Education.

Neufert, E., & Neufert, P. (2019). *Arte de proyectar en arquitectura* (16ta ed.). Editorial Gustavo Gili.

Rossi, M. E., & Deutsch, C. V. (2014). *Mineral Resource Estimation*. Springer Netherlands.

Papanek, V. (2019). *Diseñar para el mundo real: Ecología humana y cambio social* (2da ed.). Pol·len Edicions.

ANEXOS

Anexo 01
MATRIZ DE CONSISTENCIA

OPTIMIZACIÓN DE LA GRADIENTE DE RAMPA PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA UNIDAD MINERA ALPAMARCA, 2023

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE E INDICADORES		
P. General: ¿Cómo la optimización de la gradiente de rampa incrementa la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023?	O. General: Establecer Cómo la optimización de la gradiente de rampa incrementa la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023	H. General: La gradiente de rampa optimizará el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023	Variable independiente: Optimización de la gradiente de rampa		
			Dimensiones	Indicadores	Método
P. Específicos ¿Cómo se relaciona la eficiencia y eficacia operativa con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023? ¿Cómo se relaciona la eficiencia y el costo unitario de acarreo con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023? ¿Cómo se relaciona la seguridad y la pendiente de rampa con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023?	O. Específicos Determinar la relación entre la eficiencia y eficacia operativa con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023. Establecer cómo se relaciona la eficiencia y el costo unitario de acarreo con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023. Describir cómo se relaciona la seguridad y la pendiente de rampa con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023	H. Específicas La optimización de la gradiente de rampa se relaciona con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023 La eficiencia y el costo unitario de acarreo se relaciona con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023. La seguridad y la pendiente de rampa se relaciona con el incremento de la productividad en la unidad minera Alpamarca, 2023	Variable dependiente: Incremento de la productividad		
			Dimensiones	Indicadores	Técnica e inst.
			1. Eficiencia y eficacia operativa en rampas	1.1. Cumplimiento del plan de minado 1.2. Gradiente de rampa 1.3. Calidad de diseño	Enfoque: Cualitativo Tipo: Básica
			2. Eficiencia y el costo unitario de acarreo	2.1. Costo unitario de producción en transporte 2.2. Uso de equipos	
			3. Seguridad y la pendiente de rampa	3.1. Control de accidentabilidad 3.2. Cumplimiento de normas de seguridad 3.3. Seguridad del personal	Nivel: Correlacional Diseño: No experimental, transversal.
			4. Factores operacionales del transporte usado	4.1. Distancia por recorrer 4.2. Velocidad alcanzable de los camiones por pendiente 4.3. Potencia de motor requerida	Técnica: Análisis documental Instrumento: Guía de análisis
			5. Factores generales del transporte usado.	5.1. Tiempos de ciclo 5.2. Consumo de combustible 5.3. Desgaste de los caminos 5.4. Desgaste de los equipos	
			6. Factores operacionales de la rampa	6.1. Gradiente efectivo 6.2. Resistencia de Rodado 6.3. Tiempos del ciclo según la pendiente 6.4. Gradiente y distancia de frenado	Población: Operaciones de equipos y rampas de la Unidad Minera Alpamarca. Muestra: Ident.

Anexo 02

Ratios Operativos en Tajo Alpamarca

Origen	Destino	Ciclo min	Viaje x volq ton	Viajes x hr	Ton x hr	Hr efec	Ton x día
DR01	SP2						
DR01	DR01						
Tajo Centro (Ore)	SP2						
Tajo Centro (Waste)	Desmontera						
Tajo Centro (Waste)	Callejón TC						
SP1	SP2						
Desmontera	DR01						
Banco Minero	SP3						
SP3	SP2						
Banco Minero	Callejón Tajo Centro						
Banco Minero	Desmontera						
Tajo Centro (Waste)	Tajo Sur						
Banco Minero (Waste)	Tajo Sur						
Tajo Centro	Relleno 4570 Tajo Centro						

Anexo 03

Formato de Reportes de Producción en Tajo Alpamarca

Fecha	Turno	Zona	Banco	Equipo de carguío	Tipo de material	Destino	Distancia (km)	Nº viajes	Tonelaje
15/06/2023	Día	Tajo Sur	4610	Pala CAT 6060	Mineral	Planta SP2	3,5	12	444
15/06/2023	Noche	Banco Minero	4570	Cargador CAT 994	Mineral	Planta SP3	2,4	15	555
20/07/2023	Día	Tajo Centro	4600	Pala CAT 6040	Mineral	Planta SP2	3,8	10	370
20/07/2023	Noche	Tajo Centro	4600	Cargador CAT 988	Desmonte	Desmontera	2,7	18	666
10/08/2023	Día	Tajo Norte	4625	Pala CAT 6060	Mineral	Planta SP2	4,0	8	296
10/08/2023	Noche	Tajo Norte	4625	Cargador CAT 992	Desmonte	Desmontera	3,2	14	518
05/09/2023	Día	Banco Minero	4570	Pala CAT 6040	Mineral	Planta SP3	2,5	16	592
05/09/2023	Noche	Tajo Sur	4610	Pala CAT 6060	Mineral	Planta SP2	3,6	11	407