

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALURGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**CONSTRUCCIÓN DE UNA VIA ALTERNA PARA INCREMENTAR LA
PRODUCTIVIDAD DEL ACARREO DE TOP SOIL DEL BOTADERO DEL
TAJO CHALLCOBAMBA EN LA U.M. LAS BAMBAS**

PRESENTADO POR:

Br. MIGUEL ANGEL ATAU SANDOVAL

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

ASESOR:

Dr. MAURO VALDIVIA JORDAN

CUSCO - PERU

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor MAURO VALDIVIA JORDAN.....
 quien aplica el software de detección de similitud al
 trabajo de investigación/tesis titulada: CONSTRUCCION DE UNA VIA ALTERNA
PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL ACARREO DE TOP
SOIL DEL BOTADERO DEL TAJO CHALLCOBAMBA EN LA
U. M. LAS BAMBAS.....

Presentado por: MIGUEL ANGEL ATAU SANDOVAL DNI N° 73456724 ;
 presentado por: DNI N°:
 Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO DE MINAS.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8.....%.

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

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

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

Cusco, 15 de SEPTIEMBRE de 2025.....

.....
 Firma

Post firma MAURO VALDIVIA JORDAN

Nro. de DNI.....23833142.....

ORCID del Asesor.....0000-0002-7880-4637.....

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:498935815.....

CONSTRUCCIÓN DE UNA VIA ALTERNA PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL ACARREO DE TOP SOIL DEL BOTAD...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:498935315

130 páginas

Fecha de entrega

15 sep 2025, 8:50 a.m. GMT-5

27.156 palabras

157.444 caracteres

Fecha de descarga

15 sep 2025, 9:23 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

CONSTRUCCIÓN DE UNA VIA ALTERNA PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL ACARREO D....pdf

Tamaño del archivo

7.7 MB

8% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

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

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

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

DEDICATORIA

Dedico a DIOS por ser mi fuerza mi guía y la luz que me acompaña en cada paso. A mis amados padres Feliciano Atau y Martha Sandoval, cuyo amor inmenso sus consejos oportunos y los innumerables sacrificios que realizaron hicieron posible que hoy pueda cumplir este sueño. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes ya que cada paso que doy lleva impreso el apoyo y la entrega que siempre me brindaron.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios por ser mi guía en cada momento y darme la fortaleza para alcanzar mis metas. A mi asesor el Dr. Ing. Mauro Valdivia J., y a mis dictaminantes el Dr. Ing. Miguel Vera M. y el Mgt. Ing. Tomás Achanccaray P., por su valiosa orientación y aportes que dieron mayor solidez a este trabajo. A Maribel por su apoyo constante sus palabras de aliento y su inspiración en los momentos más difíciles. A mis docentes y a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por haberme formado como profesional. Y a todas las personas que me acompañaron en este proceso. Este logro es compartido con todos ustedes.

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCION.....	12
CAPITULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 Descripción del Problema.....	13
1.2 Formulación del problema.....	15
1.2.1 Problema general del estudio	15
1.2.2 Problemas específicos del estudio	15
1.3 Objetivos.....	16
1.3.1 Objetivo general.....	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
1.4 Hipótesis de la investigación	16
1.4.1 Hipótesis general.....	16
1.4.2 Hipótesis específico	16
1.5 Operacionalización de variables	17
CAPITULO II.....	18
MARCO TEORICO	18
2.1 Antecedentes de la investigación	18
2.1.1 Antecedentes internacionales	18
2.1.2 Antecedentes nacionales	20
2.2 Bases teóricas.....	23
2.2.1 Vías de acarreo estándar.....	23
2.2.2 Vía de acarreo subestándar.....	24
2.3 Tipos de vías.....	25
2.3.1 Vía de acarreo con sección “lomo de corvina” o crown.....	25
2.3.2 Vía de acarreo con sección pendiente a un lado	26
2.3.3 Vía de acarreo con sección doble vía.....	26
2.4 Mantenimiento de vías.....	27
2.5 Construcción de las vías mineras	29
2.5.1 Dimensionamiento del ancho mínimo del derecho de vía.....	29
2.5.2 Distancia de visibilidad en la vía	29
2.5.4 Coordinación entre el diseño horizontal y diseño vertical.....	30

2.5.5 Plantilla topográfica	30
2.5.6 Corte y relleno	30
2.5.7 Carguío y eliminación del material.....	31
2.5.8 Taludes.....	31
2.5.9 Subrasante.....	31
2.5.10 Drenaje subterráneo	32
2.5.11 Capa de afirmado	32
2.5.12 Capa superficial del afirmado	33
2.5.13 Drenaje superficial.....	33
2.6 Características en el estado de las vías mineras	43
2.6.1 Lastrado de vías con material grueso con presencia de aristas.....	43
2.6.2 Desgaste prematuro de neumáticos.....	44
2.6.3 Reducción del ancho operativo de la vía	44
2.6.4 Existencia de baches pronunciados.....	44
2.7 Desbroce de material	45
2.7.1 Excavación de material inadecuado.....	47
2.7.2 Excavación de bofedal y suelos morrenicos	47
2.7.3 Límite de excavación	48
2.7.4 Limpieza y retiro de material inadecuado.....	48
2.7.5 Cimentación	49
2.8 Operaciones unitarias de movimiento de tierras en el retiro de material inadecuado	51
2.8.1 Movimiento de tierras	51
2.8.2 Operaciones unitarias.....	51
2.8.2.1 Carguío.....	52
2.8.2.2 Acarreo	53
2.9 Planeamiento de minado del tajo Chalcobamba.....	53
CAPITULO III	56
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	57
3.1 Tipo y nivel de investigación.....	57
3.1.1 Tipo de investigación.....	57
3.1.2 Nivel de investigación	57
3.1.3 Diseño de investigación	58
3.2 Población y muestra	58

3.3 Técnica e instrumentos de recolección de información	58
3.3.1 Técnicas	58
3.3.2 Instrumentos.....	58
CAPÍTULO IV	59
CONSTRUCCIÓN DE UNA VIA ALTERNA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION	59
4.1 Situación actual del acarreo desde el botadero del tajo Chalcobamba hasta el DMO (Depósito de Material Orgánico).....	59
4.2 Descripción de las etapas del proyecto de construcción del botadero.....	60
4.2.1 Descripción de la etapa de construcción del botadero	60
4.2.2 Depósito de material orgánico	61
4.3 Acarreo de material desmonte y drenante	62
4.4 Acarreo de top soil.....	63
4.5 Hoja de ruta de acarreo a los acopios	66
4.6 Tiempo de espera.....	66
4.7 Evaluación técnica de la situación actual del acarreo en la ruta del haul road.....	68
4.8 Caracterización técnica de la flota operativa en el proyecto Chalcobamba	69
4.9 Cuadro de producción proyectada	70
4.10 Costos operativos de los volquetes	75
CAPITULO V	79
RESULTADO Y DISCUSIONES	79
5.1 Resultados.....	79
5.1.1 Rendimiento de la flota de equipos de acarreo	79
5.1.2 Construcción de una vía alterna en el cruce del haul road	80
5.1.3 Productividad alcanzada con la construcción de la vía alterna	85
5.1.4 Costo de beneficio	92
5.2. Discusión	97
5.2.1 Rendimiento de la flota de equipos de acarreo	97
5.2.2 Diseño y construcción de la vía alterna.....	98
5.2.3 Costos, beneficios y productividad	98
GENERALIDADES	105
Descripción de la unidad minera las bambas.....	105
Ubicación.....	105
Geología de Chalcobamba.....	106

Geología regional de Chalcobamba.....	108
Geología regional	109
Estratigrafía.....	109
Grupo Yura	110
Formación Chuquibambilla.....	110
Formacion Soraya	110
Formación Mara	111
Formación Chalcobamba.....	111
Grupo Barroso	112
Volcanico Malmaya	112
Volcanico Vilcarani.....	112
Mineralización	113
Diseño de los caminos mineros	114
Trabajos de habilitacion del tajo chalcobamba.....	114
Accesos	114
Pozos de sedimentación	115
Producción de Cobre en las Bambas.....	116
ANEXOS	118
Anexo 1. Matriz de Consistencia	119
Anexo 2. Registro del rendimiento de los Volquetes Referenciales.....	120
Anexo 3. Panel Fotográfico	122
Anexo 4. Especificaciones técnicas de las maquinarias	125
Anexo 5. Ubicación Geográfica.....	130

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	17
Tabla 2: Impacto del diseño vial en indicadores operativos.....	34
Tabla 3: Factores que afectan la productividad.....	35
Tabla 4: Componentes de costos en acarreo.....	36
Tabla 5: Estándares de seguridad vial minera.....	36
Tabla 6: Factores de eficiencia energética.....	37
Tabla 7: Tecnologías aplicables.....	39
Tabla 8: Indicadores ambientales.....	40
Tabla 9: Cantidad de metros de limpieza y material inadecuado en las Bambas.....	48
Tabla 10: Total del volumen de material orgánico.....	49
Tabla 11: Actividades de remoción de suelo orgánico y material excedente.....	61
Tabla 12: Estimaciones para el control de reportabilidad y movimientos de tierra.....	63
Tabla 13: Producción Proyectada.....	70
Tabla 14: Datos de los equipos de acarreo.....	72
Tabla 15: Datos resumidos del mes de junio de los equipos.....	74
Tabla 16: Datos de las horas acumuladas de los Volquetes mes de junio.....	76
Tabla 17: Datos de las horas acumuladas de los Volquetes vs horas compensadas.....	77
Tabla 18. Horas de rendimientos por equipos.....	79
Tabla 19. Tractores seleccionados para la construcción.....	83
Tabla 20. Camión cisterna seleccionado para la construcción.....	84
Tabla 21. Volquete seleccionado para la movilidad de los materiales.....	84
Tabla 22. Rodillo seleccionado.....	84
Tabla 23. Motoniveladoras seleccionadas.....	84
Tabla 24. Excavadoras Seleccionadas.....	85
Tabla 25: Costos de la via alterna detallado y total.....	94
Tabla 26: Cronograma para la ejecución de la construcción de la via alterna.....	95

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Configuración de vías	26
Figura 2. Sección de via de acarreo	26
Figura 3. Detalles del drenaje en una via de acarreo.....	27
Figura 4. Corte y relleno en una unidad minera a cielo abierto.....	30
Figura 5. Arreglo de material inadecuado en una unidad minera a cielo abierto	45
Figura 6. Nuevo botadero del tajo Chalcobamba	45
Figura 7. Recorrido de acarreo del nuevo botadero hacia el DMO	47
Figura 8. Arreglo general del depósito de desmonte con profundidades de cimentación para excavación.	49
Figura 9. Secuencia de minado.....	54
Figura 10. empuje de material con tractor D8 en DMO.....	61
Figura 11. Punto de espera en el cruce del Haul Road	63
Figura 12. Movimiento de Material orgánico.....	64
Figura 13. Punto de Carguío de material orgánico.....	65
Figura 14. Recorrido de acarreo del nuevo botadero hacia el DMO	66
Figura 15. Unidades en espera en el cruce del Haul Road	67
Figura 16. Equipos en espera tranquera de Haul Road.....	68
Figura 17. Equipos en espera tranquera de Haul Road.....	81
Figura 18. Ruta de construcción de la via alterna.....	82
Figura 19. Diseño de la ruta alterna y vista en 3d	83
Figura 20. Escenario 1 de las rutas de acarreo de los Volquetes.....	85
Figura 21. Simulación de las rutas en el programa ProModel.....	86
Figura 22. Resultados de la simulación de la ruta alterna para el acarreo de material....	86
Figura 23. Modelamiento del segundo escenario de la ruta alterna.	88
Figura 24. Resultados de la simulación de la ruta alterna para 2do escenario.	88
Figura 25. Comparación de la productividad, antes y después (simulada) de la vía alterna.	91
Figura 26. Comparación del tiempo antes y después (simulada) de la vía alterna.....	92

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo proponer la construcción de una vía alterna para incrementar la producción del material orgánico e inadecuado en la habilitación del botadero del Tajo Chalcobamba, en la Unidad Minera LAS BAMBAS, optimizando el acarreo de material orgánico y desmonte, respondiendo a la problemática generada por los tiempos improductivos derivados del cruce obligatorio por el camino minero, que reducen la frecuencia de viajes y elevan los costos operativos. Bajo un enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo, evaluativo y propositivo; Se evaluó el rendimiento y la producción de una flota de 25 volquetes, así como los costos de operación, empleando técnicas documentales, encuestas, simulación con ProModel y análisis costo-beneficio. Los resultados obtenidos mostraron que la vía alterna eliminó el cuello de botella, reduciendo el ciclo de acarreo de 95 a 49 minutos y aumentando la producción mensual de 56250 m³ a 101250 m³, equivalente a un incremento del 128% y la utilización de la flota pasó del 47% al 95%, superando el estándar del sector (85%), y los costos por m³ se redujeron en un 28%, generando ahorros anuales estimados en USD 712 000. El análisis económico determinó que cada dólar invertido en la obra generara un retorno de 3,2 USD, recuperándose la inversión en menos de un año, lo que llevó a concluir que la construcción de la vía alterna se valida como una solución técnica y económicamente eficiente, con potencial de réplica en operaciones mineras con condiciones similares.

Palabras clave: vía alterna, acarreo, productividad, desbroce, Camino Minero, costos, optimización, eficiencia.

ABSTRACT

This research aims to propose the construction of an alternative route to increase the production of organic and unsuitable material in the development of the Chalcobamba Pit dump, in the Las Bambas Mining Unit, optimizing the transport of organic material and waste rock, responding to the problems generated by unproductive times derived from the mandatory crossing of the mining road, which reduces the frequency of trips and increases operating costs. Using a quantitative approach, at a descriptive, evaluative, and propositional level, the performance and production of a fleet of 25 dump trucks, as well as operating costs, were evaluated using documentary techniques, surveys, simulation with ProModel, and cost-benefit analysis. The results showed that the alternate route eliminated the bottleneck, reducing the hauling cycle from 95 to 49 minutes and increasing monthly production from 56,250 m³ to 101,250 m³, equivalent to a 128% increase. Fleet utilization increased from 47% to 95%, exceeding the industry standard (85%). Costs per m³ were reduced by 28%, generating estimated annual savings of USD 712,000. The economic analysis determined that each dollar invested in the project generated a return of USD 3.20, with the investment recovered in less than a year. This led to the conclusion that the construction of the alternate route is validated as a technically and economically efficient solution, with potential for replication in mining operations with similar conditions.

Keywords: alternate road, hauling, productivity, stripping, Haul Road, costs, optimization, efficiency.

INTRODUCCION

La Unidad Minera Las Bambas siendo actualmente una de las 10 minas potenciales más grandes del mundo, teniendo la comercialización de los minerales de Cu y Mb como minerales primarios extraídos, procesados y exportados; genera una demanda masiva en los procesos operativos por los tajos actuales explotados que son el Tajo Ferrobamba y Chalcobamba.

Generando esta actividad las operaciones unitarias dentro y fuera de las operaciones de la minería, siendo el caso la actividad de movimiento de tierras que está abocado la presente investigación teniendo como una actividad principal el retiro de material orgánico para la habilitación de su primer botadero en la explotación del reciente tajo Chalcobamba. El retiro de material que se genera es masivo por la cantidad de volquetes que se tienen en la actividad mencionada, como se tiene conocimiento en la construcción del botadero debe estar en terreno de material competente y con los subdrenajes para evitar acumulados que comprometan la estabilidad del terreno por el tránsito de camiones mineros de gran envergadura.

Es por este motivo que se viene realizando el retiro de este material con volquetes, según planificado se tiene una producción mensual de 100000 m³ de traslado de material orgánico, donde se tiene tiempos improductivos e impactando directamente a lo planificado diariamente, esto debido por el cruce del Haul Road que se tiene en el transcurso de acarreo del punto carguío al punto de disposición de este material, teniendo incrementos de tiempos en el ciclo de acarreo que conlleva a la ampliación de la ejecución de proyecto con respecto al material movido por día y mensualmente. En este sentido como medida inmediata se propone una construcción de una via alterna, para mejorar y llegar a la proyección mensual que se tiene sin generar tiempos prolongados en la ejecución del proyecto del retiro de material, por ende en la presente investigación se presenta en 5 capítulos que reforzaran en dar una alternativa de mejora que dará soporte y mejoras en el problema de la presente investigación.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del Problema

En la minería a cielo abierto, el acarreo constituye una de las operaciones unitarias más determinantes para la productividad global del yacimiento, ya que conecta directamente las actividades de carguío con las de disposición o procesamiento del material extraído (Li et al., 2025), por lo que la eficiencia de este proceso depende de factores interrelacionados como el diseño geométrico de las vías, la distancia de transporte, la pendiente, las condiciones de rodadura y la gestión del tráfico minero (MTC, 2014). Una gran diversidad de estudios ha demostrado que la optimización de rutas y la reducción de tiempos improductivos pueden incrementar la productividad del acarreo entre un 30 % y un 60 %, con impactos significativos en la reducción de costos y la mejora de la seguridad operacional (Duarte, 2014; Soto & Almeida, 2025).

Pero en el contexto peruano, se ha puesto de manifiesto que las operaciones de tajo abierto enfrentan desafíos logísticos debido a la interacción entre flotas de gran tonelaje y equipos auxiliares, especialmente cuando las vías de acarreo son compartidas, respaldado esto en investigaciones previas en minas como Pierina, Pampa Verde y La Zanja que han evidenciado que los cuellos de botella en intersecciones críticas generan demoras de hasta

40 minutos por ciclo, reduciendo la utilización efectiva de la flota y afectando el cumplimiento de los planes de producción (Chacón, 2015; Marinovich, 2016; Pérez, 2018), por lo que en este sentido, la construcción de vías alternas segregadas se ha posicionado como una estrategia efectiva para eliminar interferencias y mejorar la fluidez del transporte (Salazar, 2022).

Ahora, en la Unidad Minera Las Bambas, se ejecuta actualmente el retiro y disposición de material orgánico e inadecuado para habilitar un nuevo botadero, para lo cual el transporte de estos materiales involucra una flota de 25 volquetes que recorren 11 km desde el nuevo botadero hasta el depósito temporal de top soil, en donde a los 7,5 km del trayecto, la ruta cruza el Haul Road, que es la vía principal que conecta las operaciones entre los tajos Ferrobamba y Chalcobamba. En este punto se generan tiempos de espera mínimos de 35 minutos debido a la prioridad de paso de camiones mineros de gran tonelaje, extendiendo el ciclo de acarreo de los volquetes de los 49,5 minutos proyectados a 85 y 95 minutos, lo que reduce la productividad de la flota del 95 % al 47 %, lo cual provoca una caída en el volumen de transporte de 375 m³/h a 185 m³/h, impactando directamente en los plazos y costos del proyecto.

Entonces, las consecuencias de esta situación ciertamente trascienden en lo operativo, ya que se ha registrado un incremento del 22 % en la rotación de operadores en el último trimestre, atribuible a la frustración generada por las demoras, y un aumento en los riesgos de incidentes por la congestión vehicular en la intersección crítica (Rodríguez, 2025), y desde una perspectiva económica, las penalizaciones por horas no trabajadas y los costos adicionales derivados de la menor producción han elevado los gastos operativos de forma significativa.

Por otra parte, la evidencia técnica y económica disponible indica la necesidad de establecer la urgente necesidad de abordar las limitaciones que impone la configuración vial actual, con sus características geométricas y la interacción de flotas diversas, para garantizar la continuidad y sostenibilidad de las operaciones en Chalcobamba (Quiroz, 2019) y tomar medidas estructurales que permitan eliminar el cuello de botella y recuperar los niveles de productividad planificados, avalados por el hecho de que estudios comparativos en minas con condiciones similares muestran que inversiones de esta naturaleza pueden recuperarse en menos de un año gracias al incremento en la producción

y a la reducción de costos operativos (Müller, 2023; Quiroz, 2019). En el caso presente, el análisis costo–beneficio preliminar estima un retorno de 3,2 USD por cada dólar invertido, con un periodo de recuperación inferior a tres meses.

Todo esto permite concretar que el problema central radica en la ineficiencia estructural causada por la dependencia de un tramo vial con alta congestión y prioridad operativa para otra flota, situación que limita severamente la productividad del acarreo, encarece las operaciones y genera riesgos adicionales, lo que hace imperativo evaluar afrontar este desafío mediante una solución vial dedicada que no solo responde a una necesidad inmediata de optimización, sino que también constituiría una medida estratégica para garantizar la sostenibilidad operativa y económica del proyecto en las fases futuras de explotación.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general del estudio

- ¿Qué acciones se debe tomar para incrementar la productividad del acarreo del material proveniente de la habilitación del botadero del tajo Chalcobamba en la Unidad Minera LAS BAMBAS?

1.2.2 Problemas específicos del estudio

- ¿Cómo mejorar el rendimiento de la flota de equipos de acarreo que realizan el traslado de material orgánico y desmonte para la habilitación del botadero del tajo Chalcobamba en la Unidad Minera LAS BAMBAS?
- ¿Cómo mejorar la productividad de la flota de volquetes que transportan material orgánico y desmonte para la construcción del botadero del tajo Chalcobamba en la Unidad Minera LAS BAMBAS?
- ¿Cuáles son los costos de producción de la flota de volquetes?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Proponer e implementar acciones para incrementar la productividad del acarreo del material orgánico y desmonte en la habilitación del botadero del tajo Chalcobamba en la Unidad Minera LAS BAMBAS.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el rendimiento de la flota de equipos de acarreo que realizan el traslado de material orgánico y desmonte para la construcción del botadero del tajo Chalcobamba en la U.M. LAS BAMBAS.
- Evaluar la productividad de la flota de volquetes en la ruta alterna propuesta en el cruce del Haul Road.
- Determinar los costos de producción de la flota de volquetes.

1.4 Hipótesis de la investigación

1.4.1 Hipótesis general

La construcción de una vía alterna permite alcanzar el incremento de la productividad del acarreo del material orgánico y desmonte para la habilitación del botadero del Tajo Chalcobamba.

1.4.2 Hipótesis específico

- El rendimiento de la flota de equipos de acarreo se incrementa con la construcción de la vía alterna propuesta.
- La producción de la flota de volquetes se incrementa con la construcción de la vía alterna propuesta en el cruce del Haul Road.
- Los costos de producción en el acarreo disminuyen con la construcción de la vía alterna.

1.5 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	ESCALA
VARIABLE INDEPENDIENTE: Construcción de vía alterna	Diseño	Cumplimiento de especificaciones de diseño	Planos de ingeniería, informes técnicos	Cualitativa / Razón
	Geometría vial	Longitud (metros)	Planos de ingeniería	Razón
		Ancho de calzada (metros)	Informes técnicos	Razón
		Pendiente máxima (%)	Levantamiento topográfico	Intervalo
VARIABLE DEPENDIENTE: Incremento de la productividad	Productividad	Viajes/día/volquete	Reportes de producción	Razón
		m ³ transportados/día	Bitácoras de equipos	Razón
	Capacidad instalada	% utilización de flota	Análisis OEE	Porcentaje
	Eficiencia económica	Costo por m ³ transportado (USD)	Estados financieros	Razón
		Horas máquina no productivas	Reportes de mantenimiento	Razón
	Tiempos operativos	Ciclo de acarreo (minutos)	Estudios de tiempo y movimiento	Intervalo
Tiempos de espera (minutos)		Registros GPS	Intervalo	

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

- **Acevedo Céspedes (2017). Simulación de sistema de transporte en minería de caving, aplicación al Proyecto Nuevo Nivel Mina de División El Teniente. Tesis de maestría, Universidad de Chile**

El objetivo principal del estudio fue analizar la eficiencia del sistema Mina–Planta en un contexto de minería subterránea a gran escala, con especial énfasis en un sistema de transporte mixto compuesto por cargadores LHD, camiones y correas transportadoras. Se buscó identificar cuellos de botella y vulnerabilidades operativas que pudieran comprometer la continuidad de la producción. Para ello, se utilizó simulación de eventos discretos mediante el software ProModel, empleando datos operacionales reales y un horizonte de simulación de 372 días, con 7 días iniciales de estabilización.

El estudio permitió evaluar la capacidad productiva del sistema y cómo interactúan los distintos equipos móviles y fijos, incluyendo variaciones en tiempos de mantenimiento y fallas imprevistas. Como conclusión principal, se determinó que con una flota de 11

camiones operativos se podía alcanzar un rendimiento de 275 toneladas por hora. Sin embargo, cualquier aumento en los tiempos de mantención o fallos en infraestructuras críticas generaba pérdidas importantes de producción. Esto resalta la importancia de identificar y mitigar cuellos de botella, así como de planificar adecuadamente rutas y capacidades del sistema para minimizar interferencias y garantizar el cumplimiento de los compromisos productivos.

- **Bermúdez García, E. J. y Serrano Alvear, A. (2023). Diseño de la vía de acceso a la finca Don Alberto, con sus procesos constructivos de acuerdo al INVIAS. Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia.**

El objetivo principal del proyecto fue garantizar una vía de transporte eficiente para vehículos de carga pesada, cumpliendo con las especificaciones del manual del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). La intención fue mejorar la conectividad, reducir los tiempos de desplazamiento y minimizar riesgos operativos y económicos asociados al mal estado de la infraestructura vial, aspectos claves para la logística en operaciones mineras.

Se aplicó una metodología experimental, con enfoque cuantitativo y trabajo de campo, respaldada por herramientas tecnológicas como Civil 3D, Google Earth Pro y Excel. El proceso incluyó análisis topográfico, diseño geométrico, cálculo de cantidades, formulación presupuestaria y una gestión de riesgos detallada.

Como conclusión, se desarrolló un diseño vial conforme a normas INVIAS y un plan de intervención optimizado en tiempo, costos y calidad. Se evidenció que la planificación minuciosa, el control presupuestal y la gestión preventiva de riesgos son fundamentales para el éxito del proyecto. El estudio demuestra que una vía bien diseñada y ejecutada mejora la logística productiva, la seguridad operativa y la sostenibilidad económica, aportando un precedente valioso para proyectos de infraestructura en contextos mineros, donde el transporte eficiente de materiales es crítico.

- **Soto, D. y Almeida, F. (2025). Gestión Eficiente de Vías Mineras: Caso Práctico en una Mina De Oro En Sudamérica Universidad Federal de Ouro Preto, Brasil.**

El objetivo principal del estudio fue optimizar la productividad y reducir los costos operativos en una mina de oro sudamericana mediante la identificación y eliminación de cuellos de botella en las vías de acarreo. Para ello, se utilizó la herramienta Haul Road

Explorer (HRE) y se integraron tecnologías como el Road Works Prioritization Assistant y sistemas de inspección georreferenciada.

La metodología adoptó un enfoque aplicado, basado en el análisis de datos operacionales y simulaciones del flujo vehicular, complementado por evaluaciones visuales y diagnósticos tecnológicos. Se identificó que la rampa principal, afectada por deslizamientos y estrechamientos por condiciones climáticas, funcionaba de forma unidireccional, generando pérdidas de hasta 6.000 toneladas por semana.

Las acciones correctivas incluyeron la remoción de obstrucciones, recuperación del tráfico bidireccional y mejoras en el drenaje. A nivel estratégico, se incorporaron medidas de mantenimiento planificadas y reparaciones enfocadas en alto retorno. Como resultado, se incrementó la productividad en 38.000 toneladas semanales y se redujeron en un 43 % las fallas en los camiones.

La conclusión del estudio evidencia que una gestión vial apoyada en tecnologías modernas permite reducir tiempos muertos e interrupciones operativas, lo cual impacta positivamente en el rendimiento general del ciclo de acarreo minero.

2.1.2 Antecedentes nacionales

- **Salazar Chávez, P. S. (2022). Incremento de la productividad en carguío y acarreo mediante la disminución de tiempos improductivos en la construcción del pad de lixiviación Ciénaga norte en cia. Minera Coimolache S.A. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, UNC, Cajamarca.**

El propósito central de la investigación se orientó a elevar la productividad en las labores de carguío y transporte de material, mitigando los tiempos muertos detectados durante los primeros meses de construcción del pad en su fase inicial (9,0 ha), los cuales habían ralentizado el progreso de la obra, para lo cual se aplicó una metodología basada en la detección, categorización y análisis de las ineficiencias registradas entre junio y agosto, identificándose como factores críticos la insuficiencia de frentes de trabajo, la limitada disponibilidad de operadores, las esperas prolongadas en los puntos de carga y la inadecuada provisión de combustible. Ante estas limitaciones, durante el periodo de septiembre a noviembre se introdujeron mecanismos de control y se procedió a la

estandarización de procesos, con la finalidad de maximizar la utilización de la flota y asegurar la estabilidad de los indicadores clave de desempeño (KPI's).

Como consecuencia de estas medidas, las demoras se redujeron significativamente, en un 65,53% para las operaciones de carguío y en un 57,44% para las de acarreo y el índice de aprovechamiento de equipos experimentó una mejora notable, pasando del 73,19% al 82,42% en carguío y del 71,07% al 81,39% en acarreo. Dichos avances repercutieron en una disminución de costos unitarios de 0,21 USD/m³ en el manejo de material de corte y de 0,17 USD/m³ en el relleno estructural.

Las conclusiones del estudio resaltan que la reducción de interrupciones operativas y la gestión eficiente de los equipos de acarreo constituyen ejes fundamentales para optimizar la productividad minera. De igual modo, se subraya que una planificación vial estratégica no solo contribuye a eliminar cuellos de botella en la operación, sino que también garantiza ahorros sostenibles y una mayor eficiencia en el transporte de materiales.

- **Ruiz, M. D., & Sandoval, F. M. (2022). Implementación de un plan estratégico de mantenimiento de vías para optimización de la flota de acarreo en Minera La Zanja, 2022. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, UPN.**

Esta investigación tuvo como propósito central incrementar la eficiencia de la flota de transporte en Minera La Zanja mediante la aplicación de un programa estratégico de conservación vial, diseñado en concordancia con lo establecido en el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, ya que emergió la necesidad de garantizar la adecuada condición de las vías en la temporada seca, ya que su deterioro repercute de manera directa en la disminución del desempeño de los equipos y en el incremento de los costos de operación. La metodología empleada se enmarcó en un enfoque cuantitativo con diseño preexperimental, permitiendo comparar los indicadores antes y después de la implementación del plan, con una muestra que estuvo conformada por las rutas de acarreo del proyecto, sobre las cuales se realizaron mediciones sistemáticas y análisis estadísticos para evaluar tanto la productividad de la flota como el consumo de combustible.

Los hallazgos reflejaron mejoras significativas al obtener un incremento del 13,35 % en la rentabilidad operativa (US\$/BCM-km) y una disminución de 0,52 gal/hr en el promedio

de consumo de combustible, corroborando que el mantenimiento preventivo y programado de las vías constituye un factor decisivo para alcanzar una mayor eficiencia en las operaciones mineras.

Se concluyó que mantener en óptimas condiciones las vías de acarreo se configura como un elemento clave para potenciar la productividad, reducir los costos asociados y consolidar indicadores de desempeño más favorables, además de que la ejecución oportuna de obras viales de mantenimiento o construcción tiene un efecto directo sobre la sostenibilidad y rentabilidad del transporte de materiales en el ámbito minero.

- **Pardo Navarro, K. (2019). Optimización del transporte de desmonte con volquetes mediante la teoría de colas en Sociedad Minera Corona SA. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.**

La investigación se planteó como objetivo central perfeccionar el ciclo de carguío y transporte de desmonte en la Unidad Minera Cerro Corona, con la finalidad de elevar la productividad global de las operaciones en dónde se adoptó un enfoque cuantitativo de carácter descriptivo, bajo un diseño no experimental, y consideró como muestra operativa un total de 7 máquinas de carguío y 39 unidades de acarreo, incluyendo tres tipos de excavadoras y tres modelos de volquetes, registrándose un tiempo promedio de ciclo de 29,33 minutos en recorridos de 5,029 km, valor que superó el promedio ponderado de 27,46 minutos. Al comparar las distintas rutas hacia los botaderos, se identificó que la rampa principal constituía la alternativa más eficiente, presentando tiempos que fluctuaron entre 24,39 y 32,54 minutos según el destino final.

Mediante la aplicación de la técnica de emparejamiento de equipos (match), se estableció que la combinación más productiva correspondía a la excavadora CAT390FL con el volquete SCANIA RG620, alcanzando un rendimiento de 31.956,82 toneladas diarias, lo que significó un incremento del 16 % en relación con la base inicial, evidenciando un aumento superior al 7 % en la productividad, confirmando que la reducción en los tiempos

de acarreo y una asignación adecuada de flota repercuten de manera directa en la continuidad del proceso productivo..

- **Valenzuela Barreto, J. (2022). Gestión del ciclo de acarreo para optimizar la productividad operacional del tajo Ferrobamba del Proyecto Minero Las Bambas, 2016. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay, Perú.**

El estudio tuvo como objetivo fundamental incrementar la productividad operacional en el tajo Ferrobamba mediante la optimización del ciclo de acarreo, actividad clave y de alto costo en minería. El acarreo involucra una flota considerable de camiones y requiere un manejo preciso para cumplir metas de producción y reducir costos unitarios. Se empleó un enfoque analítico-operativo, evaluando las competencias del personal y las condiciones técnicas de las vías. En el aspecto infraestructural, se analizó el diseño geométrico y estructural de las rutas, asegurando un tránsito continuo hacia chancadora, botadero o dique, con soporte de equipos auxiliares para mantenimiento preventivo y correctivo. Se identificó que un diseño vial técnicamente óptimo, junto con un estricto control de velocidades y tiempos, estabiliza la productividad y optimiza el uso de la flota. Se diferenciaron tiempos fijos y tiempos variables (viajes cargado y vacío), concluyendo que su gestión individualizada reduce la dispersión en los ciclos. Los resultados evidencian que la planificación vial y el control operacional son sinérgicos en la mejora del acarreo. La integración de mejoras en el diseño y trazado de rutas con la gestión de velocidades y tiempos de ciclo maximiza la eficiencia, asegurando un transporte más productivo y económico en operaciones mineras.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Vías de acarreo estándar

En concordancia con los criterios de diseño, las vías destinadas al acarreo deben garantizar el tránsito en paralelo de dos unidades del equipo de mayor capacidad, sin incluir en dicha medida las cunetas ni los muros laterales. Para considerarse dentro de los parámetros estándar, la calzada debe permitir el cruce simultáneo de dos volquetes que circulen en direcciones opuestas, con elementos de seguridad como bermas o muros de contención que tienen que mantener una altura mínima equivalente a tres cuartas partes del diámetro del neumático del vehículo de mayor tamaño que utilice la vía, con la capa

de rodadura conservando una superficie uniforme, libre de hundimientos, charcos o irregularidades que comprometan la continuidad del tránsito y las cunetas deben mantenerse despejadas y exentas de materiales saturados, asegurando así un drenaje adecuado y una evacuación eficiente de las aguas de escorrentía, tal como lo establece la sección típica del proyecto.

2.2.2 Vía de acarreo subestándar

Se considera subestándar una vía de acarreo que deja de cumplir con las condiciones de diseño para las que fue concebida o pierde su capacidad de tránsito seguro provocando demoras en la continuidad del proceso productivo, sino que además incrementa el riesgo de que ocurran incidentes o accidentes si no se interviene oportunamente. En la mayoría de los casos, la combinación de precipitaciones pluviales con labores de mantenimiento ejecutadas de manera tardía constituye el principal factor que origina la deformación de la superficie y, en consecuencia, la degradación de la vía hasta alcanzar un nivel inadecuado para la operación minera.

a) Vías de acarreo con acumulación de agua

La presencia de empozamientos en las rutas de acarreo se origina principalmente por el efecto de la tracción de los neumáticos sobre el terreno húmedo, lo que provoca huellas que se profundizan progresivamente durante la temporada de lluvias, sumando la utilización de material inadecuado en el lastrado pues al saturarse con el agua, lejos de consolidar la superficie, solo cubre de manera temporal y superficial las irregularidades, generando puntos débiles en la capa de rodadura, constituyendo un riesgo para los neumáticos, pues el operador, al atravesar un empozamiento sin visibilidad del fondo, puede encontrarse con objetos punzantes o materiales rígidos que ocasionen daños graves.

b) Vías con encalaminado

Este tipo de deterioro se caracteriza por la aparición de ondulaciones o rugosidades en la capa de rodadura que simulan la superficie de una calamina que provocan movimientos bruscos en los equipos de acarreo, alteraciones en la estabilidad durante el recorrido y variaciones en la velocidad de desplazamiento, lo cual interrumpe la continuidad operativa.

c) Vías con ancho reducido y muros de seguridad deficientes

Se catalogan como subestándar los caminos de acarreo que no satisfacen los parámetros mínimos de diseño, lo cual repercute directamente en la seguridad y operatividad. En estos tramos, el ancho de circulación puede reducirse significativamente como consecuencia de la acumulación de rebaba generada por el tráfico constante, las precipitaciones o, incluso, por los desprendimientos y deslizamientos provenientes de los taludes cercanos. La función protectora de los muros de seguridad se ve comprometida cuando son construidos con materiales poco apropiados, ya que tienden a deteriorarse con las lluvias, lo que eleva el riesgo de incidentes. Dichas fallas estructurales pueden originar desde simples roces entre maquinarias pesadas hasta accidentes de gran magnitud, como el desplome de volquetes entre diferentes niveles de la vía.

d) Vías con superficie resbaladiza

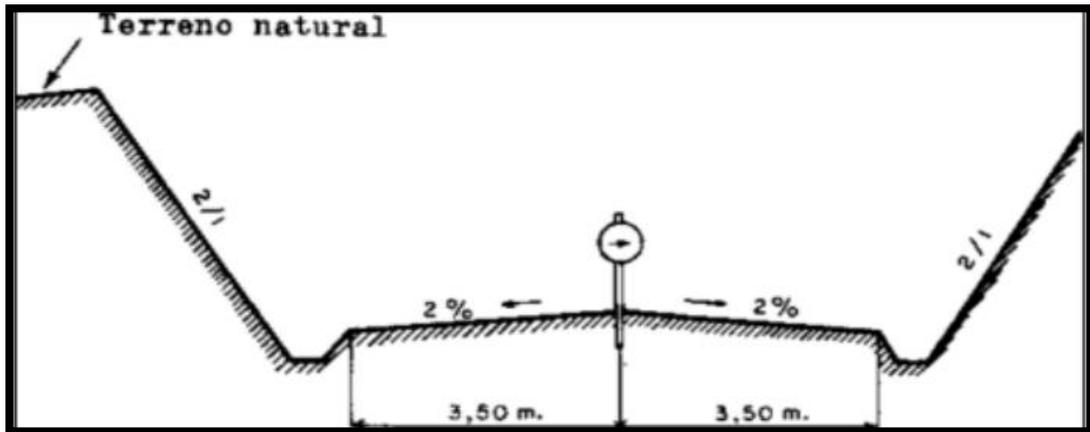
Las precipitaciones propias de climas severos ocasionan que el agua, al entrar en contacto con el polvo acumulado en la vía, forme una película delgada que reduce la fricción y dificulta la tracción de los neumáticos generando deslizamientos o patinajes que afectan la seguridad del tránsito. Para contrarrestar esta condición, suelen emplearse cisternas de agua que lavan la superficie o motoniveladoras que restablecen la uniformidad de la vía.

2.3 Tipos de vías

2.3.1 Vía de acarreo con sección “lomo de corvina” o crown

La fracción de esta vía presenta una configuración convexa en su parte central, lo que facilita que el agua de lluvia escurra hacia los extremos laterales. En consecuencia, se requiere la construcción de dos cunetas, una en cada costado, para garantizar un adecuado drenaje. Este diseño suele implementarse en operaciones mineras donde se emplea maquinaria de gran porte para el transporte de materiales (Marinovich, 2016).

Figura 1. Configuración de vías

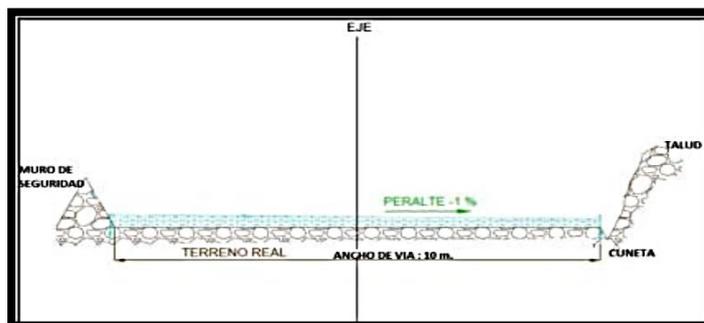


Fuente: Extraído de Marinovich (2016).

2.3.2 Vía de acarreo con sección pendiente a un lado

En el ámbito vial, uno de los diseños transversales más frecuentes consiste en disponer únicamente de una cuneta, la cual puede ubicarse a la derecha o a la izquierda de la calzada. Esta disposición responde al criterio del trazado geométrico, considerando el comportamiento de los camiones durante los deslizamientos que suelen presentarse en temporada de lluvias (Marinovich, 2016).

Figura 2. Sección de vía de acarreo



Fuente: Extraído de Marinovich (2016).

2.3.3 Vía de acarreo con sección doble vía

Este tipo de sección vial está destinada a la circulación en ambos sentidos cuando el ancho disponible resulta justo para permitir el desplazamiento simultáneo de dos camiones con el fin de garantizar la seguridad operativa, se incorpora una berma central que actúa como

elemento de control, evitando que un vehículo invada el carril contrario, lo que reduce significativamente el riesgo de colisiones. Esta disposición cobra especial relevancia en tramos curvos, donde la visibilidad y el espacio de maniobra son más limitados (Villalobos, 2013).

2.4 Mantenimiento de vías

El mantenimiento de vías comprende el conjunto de labores destinadas a preservar la transitabilidad, conservar las condiciones de diseño original y corregir oportunamente situaciones subestándares, de forma que la infraestructura cumpla de manera eficiente con el propósito para el que fue concebida (Villalobos, 2013). Dentro de estas actividades se contemplan las siguientes acciones:

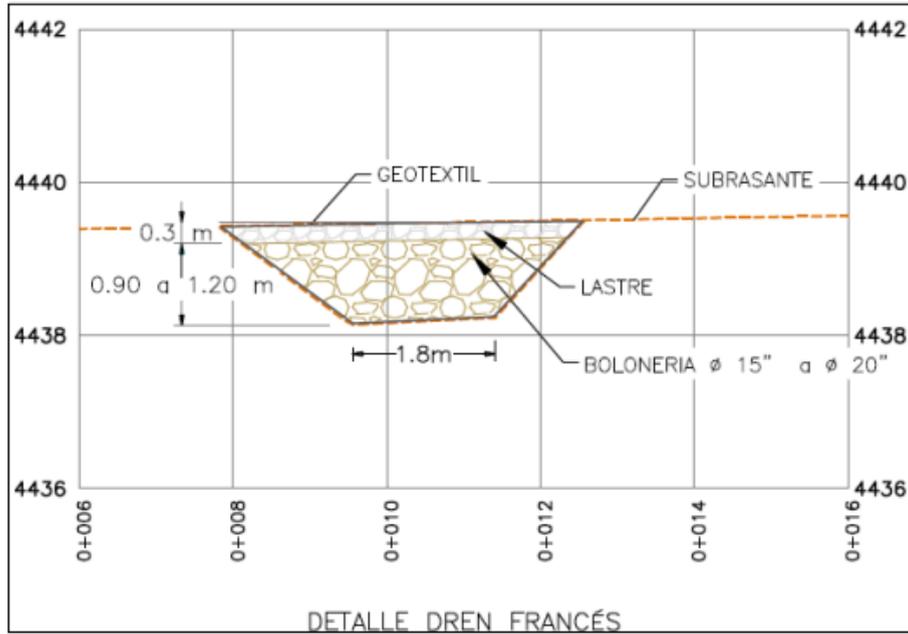
a) Excavación y retiro de excedentes: Se ejecuta el corte de la superficie vial hasta una profundidad aproximada de 0,90 m respecto a la capa actual de rodadura, incorporando un bombeo transversal del 5 % que permita la evacuación adecuada de aguas de escorrentía.

b) Nivelación y compactación: Una vez dispuesta la subrasante, se procede a nivelarla y compactarla, verificando que se mantenga el bombeo del 5 % para garantizar el drenaje en épocas de lluvia.

c) Controles de calidad: Sobre la subrasante se realizan pruebas de capacidad portante y compactación mediante ensayos de densidad en campo y determinación de humedad con el equipo Speedy. Los parámetros de aceptación establecidos corresponden a un nivel de compactación superior al 95 % y un rango de humedad entre 6 % y 8 %.

d) Implementación del sistema de drenaje: Para asegurar la evacuación de aguas, se construyen cunetas triangulares al pie de las bermas, con dimensiones de 1,50 m de ancho y 0,50 m de profundidad, manteniendo una pendiente longitudinal superior al 1,5 %, incorporándose drenes franceses dispuestos perpendicularmente a la vía en cada ventana, conformados con bolonería de 10 a 20 pulgadas de diámetro, lo que favorece la filtración y conducción del agua subterránea, en el extremo inferior de cada ventana se habilitan pozas de acumulación para el depósito de lodos, las cuales se limpian periódicamente empleando excavadoras de orugas y volquetes con capacidad de 15 m³.

Figura 3. Detalles del drenaje en una vía de acarreo.



Fuente: Extraído de Marinovich (2016).

e) Colocación y sellado de material en temporada de lluvias: Durante la época del año de alta pluviosidad, en fases de construcción de la vía, el tendido de material debe realizarse en tramos cortos que se compactan de inmediato con un rodillo de 12 toneladas, antes de avanzar al siguiente tramo, con el fin de evitar la saturación del material suelto por efecto de la lluvia. En caso de ser necesario, se recomienda incrementar la cantidad de rodillos, asegurando siempre una compactación uniforme y respetando el radio de trabajo entre equipos.

f) Mantenimiento rutinario con motoniveladora: Para conservar la pendiente de diseño y mantener la uniformidad de la superficie, se emplea una motoniveladora cuya precisión permite perfilar la vía con exactitud, lo que se realiza esto preferentemente en horario diurno, aprovechando la luz natural, ya que durante la noche los operadores pierden precisión en el manejo de la hoja de la máquina.

2.5 Construcción de las vías mineras

2.5.1 Dimensionamiento del ancho mínimo del derecho de vía

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), la determinación del ancho de una carretera debe responder a su clasificación funcional y a lo dispuesto en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2001, aunque en el contexto minero la referencia principal se establece en función de las dimensiones de los camiones de acarreo, por ejemplo, tomando como base un camión Komatsu de 9,25 m de ancho, se considera que, por seguridad, la vía debe medir al menos tres veces dicha dimensión, es decir, 27,75 m como mínimo. En el caso del camino minero, se implementó un ancho operativo superior, que oscila entre 30 m y 35 m.

2.5.2 Distancia de visibilidad en la vía

El MTC define la distancia de visibilidad como la longitud de carretera que el conductor puede observar de manera continua hacia adelante tomando en cuenta que en diseño geométrico, se reconocen tres tipos de distancias: la necesaria para detener el vehículo, la requerida para adelantar a otro que circule a menor velocidad en el mismo sentido y la indispensable para incorporarse o cruzar a una vía de mayor jerarquía. No obstante, en operaciones mineras no se contempla el adelantamiento de vehículos debido al gran tamaño y limitada maniobrabilidad de los camiones de acarreo y en situaciones donde un vehículo quede detenido por fallas mecánicas, se notifica de inmediato al área de Operaciones Mina, la cual se encarga de señalizar la zona y coordinar el sobrepaso de manera segura. Aun así, se recomienda que el trazado de las vías mineras asegure una visibilidad de parada suficiente para los conductores.

2.5.3 Peralte de carretera

Según el MTC, el peralte corresponde a la elevación de la parte externa de una curva respecto a la parte interna, con el propósito de contrarrestar los efectos de la fuerza centrífuga. En el ámbito de la minería a cielo abierto, donde las vías suelen ser rugosas y las precipitaciones intensas, se recomienda establecer un peralte cercano al 5 %, de modo que se facilite el drenaje por gravedad y se incremente la seguridad en la operación vehicular.

2.5.4 Coordinación entre el diseño horizontal y diseño vertical

El MTC enfatiza que los alineamientos horizontales y verticales deben concebirse de manera integrada, ya que su correspondencia directa permite uniformizar la velocidad de circulación y reforzar la seguridad operativa. Para las rutas de acarreo, se sugiere mantener pendientes longitudinales no inferiores al 1,5 % ni superiores al 3 %, dado el elevado peso de los camiones cargados y la necesidad de evacuar adecuadamente el lodo producto de intensas lluvias, así como el peralte transversal recomendado no debe superar el 5 % (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.5.5 Plantilla topográfica

La topografía constituye un elemento clave en la construcción de vías, ya que garantiza la coherencia entre los diseños horizontal y vertical generando una plantilla de cotas a partir del perfil longitudinal, incorporando la consideración del peralte del 5 % para finalmente proceder al estacado de la vía, lo cual permite definir el nivel exacto de corte hasta alcanzar la subrasante.

2.5.6 Corte y relleno

Con el plantillado definido en las márgenes de la calzada y una vez establecidas las bermas de seguridad de acuerdo con lo indicado en apartados anteriores, se ejecuta el proceso de corte de la vía lo que en la práctica se lleva a cabo con tractores de gran potencia, como el D11T, que efectúan cortes hasta obtener un ancho efectivo de 35 m, respetando una pendiente transversal del 5 %, indispensable para permitir el escurrimiento gravitacional del agua y del lodo acumulado.

Figura 4. Corte y relleno en una unidad minera a cielo abierto.



Fuente: Extraída de MMG Las Bambas.

2.5.7 Carguío y eliminación del material

El material extraído durante el proceso de corte debe ser evacuado con apoyo de equipos auxiliares empleando una excavadora en el carguío, complementada con volquetes de 15 m³ de capacidad, encargados de transportar los residuos hacia los botaderos, siendo fundamental realizar un monitoreo constante del corte con el propósito de evitar excesos que luego requieran rellenos localizados, lo cual optimiza recursos y tiempo en la obra.

2.5.8 Taludes

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), las pendientes o taludes resultantes de los cortes y rellenos deben ajustarse a las características de estabilidad del terreno, la inclinación y altura admisible se determinan mediante ensayos geotécnicos, cálculos de estabilidad o, en su defecto, por la experiencia en obras con condiciones geológicas semejantes. En el ámbito minero, se diseñan bermas de seguridad cuyas dimensiones se relacionan con el tamaño de los vehículos de acarreo tomando en cuenta que la altura mínima debe corresponder a tres cuartas partes del diámetro de la llanta del camión. Por ejemplo, en el caso de un neumático de 3,60 m, la berma debe alcanzar como mínimo 2,70 m de altura y el talud se proyecta con una inclinación de aproximadamente 37°, garantizando estabilidad y seguridad operativa.

2.5.9 Subrasante

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) establece que la subrasante corresponde a la capa superior del terreno natural sobre la cual descansa la estructura de la vía, como en el caso de proyectos nuevos, esta capa se considera con un espesor aproximado de 0,45 m, mientras que en trabajos de rehabilitación únicamente se analiza la franja superficial de 0,20 m. El parámetro fundamental para su diseño es la capacidad de soporte, determinada mediante el ensayo CBR (California Bearing Ratio), que permite clasificarla en función de su resistencia. Así, las categorías se organizan desde las más deficientes, cuando el CBR es inferior al 3 %, hasta las de mejor calidad, en las que el valor supera el 20 %.

La distancia entre la superficie de la subrasante y el nivel freático constituye otro aspecto clave para garantizar la estabilidad de la vía, en dónde según las especificaciones, dicha separación debe mantenerse, como mínimo, en 0,60 m para subrasantes buenas o muy

buenas; en 0,80 m cuando son regulares; en 1,00 m para las pobres, y hasta 1,20 m en los casos de subrasantes muy pobres. Cuando estas condiciones no se cumplen, se recurre a soluciones técnicas como la instalación de subdrenes, la colocación de capas anticontaminantes o drenantes, o la elevación de la rasante a la cota necesaria.

La importancia de esta capa radica en su función de absorber y resistir las cargas repetitivas generadas por el tránsito, en especial por el paso de camiones pesados. Si bien los estudios realizados en el proyecto indican la presencia de una subrasante de calidad muy buena, se decidió implementar subdrenes subterráneos con el propósito de evitar la saturación del material ocasionada por la cercanía del nivel freático y, de esta manera, garantizar un mejor desempeño estructural a lo largo de la vida útil de la vía.

2.5.10 Drenaje subterráneo

El drenaje subterráneo tiene como propósito regular la humedad en la plataforma y en las capas del pavimento. De acuerdo con el MTC, este sistema cumple funciones como interceptar corrientes subterráneas, reducir el nivel freático y sanear las capas del firme. El diseño adoptado consiste en zanjas con tuberías perforadas o porosas, rodeadas por material filtrante y recubiertas en la parte superior por una capa impermeable que impide la infiltración de aguas superficiales.

En este caso, se implementó un dren francés, compuesto por canales de material granular con un diámetro de 20", destinados a captar las aguas pluviales y conducirlos hacia pozas de almacenamiento. Los drenes fueron colocados de manera transversal a la vía cada 70 a 100 m, con una profundidad entre 0,9 y 1,2 m, un ancho aproximado de 1,5 m y pendiente uniforme de descarga. Con esta disposición se asegura un adecuado control de filtraciones, evitando la saturación de finos que comprometería la función estructural. Finalmente, se rellenó hasta la subrasante con material de rechazo compactado.

2.5.11 Capa de afirmado

Según el MTC, los materiales empleados en la capa de afirmado varían de acuerdo con la disponibilidad regional y la naturaleza de las canteras (de cerro o río). La mezcla óptima debe combinar adecuadamente piedra, arena y finos o arcilla, la piedra aporta resistencia a la carga, la arena clasificada rellena los vacíos, y los finos plásticos actúan como cohesivo para consolidar la capa. Para asegurar la densidad requerida, se recomienda

realizar entre 7 y 9 pasadas de compactación con rodillos lisos de al menos 20 toneladas de peso estático. De esta manera, se garantiza una superficie uniforme, resistente y duradera.

2.5.12 Capa superficial del afirmado

a capa superficial del afirmado es de colocación opcional, aunque de aplicarse, su espesor se descuenta del total previsto para la capa de afirmado, este espesor no debe ser inferior a 100 mm y debe conformarse principalmente con grava triturada y arena gruesa, complementado con partículas finas y una fracción de la arcilla que actúa como agente aglutinante, el material de rodadura debe presentar características que aseguren su estabilidad estructural, elevada resistencia al desgaste por abrasión, baja generación de polvo y un impacto mínimo en el deterioro de los neumáticos. A estas condiciones se suma la necesidad de que sea de fácil conservación, económicamente accesible y adecuado para labores de mantenimiento periódico. En el caso particular de la mina Rafael S.A.C., se sugiere fortalecer la superficie de tránsito mediante un sellado con material de descarte, lo que incrementa la rugosidad del pavimento y extiende la vida útil de la vía.

2.5.13 Drenaje superficial

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) reconoce que el drenaje superficial es un factor esencial en la preservación de la infraestructura vial, ya que su finalidad es encauzar y evacuar las aguas de lluvia para evitar que su infiltración o acumulación comprometa la estabilidad estructural, la durabilidad y la transitabilidad de la carretera. La falta de un sistema adecuado de evacuación hídrica, o un diseño deficiente del mismo, puede acelerar los procesos de deterioro hasta provocar fallas graves en la vía, además de alterar el régimen natural de escorrentía, lo que genera efectos ambientales adversos.

Desde el punto de vista operativo, el drenaje superficial comprende tres funciones principales: recolectar el agua proveniente de la calzada y los taludes, transportarla hacia cauces naturales y, finalmente, restablecer la continuidad de aquellos cauces interrumpidos por la carretera. Para la vía analizada, se proyectó una pendiente transversal del 5%, lo que impide la acumulación de agua en la superficie de rodadura y asegura que

los sedimentos y el lodo arrastrados sean conducidos hacia cunetas laterales. Estas cunetas presentan una sección estándar de 1,50 m de ancho y profundidades que varían entre 0,20 m y 1,20 m, con pendientes longitudinales superiores al 1,5%, condición que favorece el flujo hidráulico. Asimismo, se dispusieron ventanas de desfogue cada 70 a 100 m, que permiten descargar el material hacia pozas de retención ubicadas detrás de las bermas, optimizando así la capacidad de evacuación y protección de la vía.

1. Diseño de vías mineras y su impacto en la productividad

El diseño geométrico de vías mineras constituye un factor crítico para la eficiencia operativa en minería superficial. Según el *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014* del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2014), las variables clave incluyen:

- **Ancho de calzada:** Debe ser ≥ 3 veces el ancho del equipo más grande (p. 45).
- **Pendientes máximas:** Recomendadas $< 8\%$ para transporte sostenido de material (MTC, 2014, p. 72).
- **Distancia de visibilidad:** Mínimo 200 m para camiones de 400 toneladas (Jenkins & Lighthall, 2018, p. 113).

Estudios de Marinovich (2016) en la Mina La Zanja demostraron que vías con pendientes $> 10\%$ reducen la velocidad de acarreo en 35% y aumentan el consumo de combustible en 22% (p. 88). La Tabla 2 ilustra esta relación:

Tabla 2: Impacto del diseño vial en indicadores operativos

Variable de diseño	Efecto en productividad	Fuente
Ancho < 25 m	+15% tiempo de ciclo	MTC (2014)
Pendiente $> 8\%$	-1.5 km/h velocidad promedio	Jenkins & Lighthall (2018)
Curvas sin peralte	+20% desgaste de neumáticos	Marinovich (2016)

Fuente: Marinovich (2016).

2. Productividad en operaciones de acarreo

La productividad en minería se mide mediante el *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*, que integra disponibilidad, rendimiento y calidad (Nieto, 2017). Para volquetes, el indicador clave es el **número de viajes/día**, afectado por:

- **Tiempos de ciclo:** Incluyen carguío, transporte, descarga y espera (Caterpillar, 2020).
- **Match Factor:** Relación óptima entre palas y volquetes (1:4 para equipos de 15 m³ según Pardo, 2019).

Según datos de Antapaccay (Amau, 2019), un incremento del 15% en la distancia de acarreo reduce la producción en 9.2% (p. 56). La Figura 2 muestra la curva de productividad vs. distancia:

Tabla 3: Factores que afectan la productividad

Factor	Impacto en OEE	Caso de estudio
Espera >30 min	-25% disponibilidad	Calua (2019)
Distancia >10 km	-12% rendimiento	Amau (2019)
Pendiente >6%	-8% velocidad promedio	Caterpillar (2020)

Fuente: Amau (2019)

3. Costos operativos en transporte minero

Los costos unitarios (USD/m³) dependen de:

- **Horas máquina:** Según el *Manual de Costos de Codelco* (2021), el costo por hora de un volquete de 15 m³ es \$85-120, con 30% atribuible a combustible.
- **Eficiencia energética:** Vargas (2019) comprobó que demoras >20 min incrementan el consumo en 18% (p. 34).

El estudio de Ruiz & Sandoval (2022) en La Zanja evidenció que mejoras en el mantenimiento de vías redujeron costos en 13.35% (p. 72). La Tabla 4 detalla la estructura de costos:

Tabla 4: Componentes de costos en acarreo

Concepto	% del costo total	Variable asociada
Combustible	42%	Tiempos de espera
Mantenimiento	28%	Estado de la vía
Operadores	20%	Horas productivas
Neumáticos	10%	Pendientes pronunciadas

Fuente: Ruiz & Sandoval (2022)

4. Seguridad en vías mineras y su impacto operativo

La seguridad vial en operaciones mineras está directamente vinculada al diseño geométrico y los protocolos de tránsito. Según el *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería* (Perú, 2021), las vías deben cumplir:

- **Bermas de seguridad:** Altura $\geq \frac{3}{4}$ del diámetro de neumáticos (p. 112).
- **Visibilidad en curvas:** Radio mínimo de 25 m para camiones de 400 toneladas (ISO 17757, 2017).
- **Señalización:** Obligatoria cada 500 m en vías principales (Sernageomin, 2020).

Un estudio en Antamina (López et al., 2023) demostró que la implementación de vías segregadas redujo accidentes en un 40% y mejoró la velocidad promedio en 15% (p. 78).

La Tabla 5 sintetiza los estándares:

Tabla 5: Estándares de seguridad vial minera

Parámetro	Requisito	Impacto en operaciones
Ancho de berma	≥ 2.5 m	Reduce incidentes en 60%
Iluminación nocturna	≥ 50 lux	+20% productividad nocturna
Distancia entre vehículos	≥ 50 m en pendientes	Evita colisiones

Fuente: López et al. 2023).

5. Eficiencia energética en equipos de acarreo

El consumo de combustible en volquetes mineros está influenciado por:

- **Resistencia a la rodadura:** Aumenta un 8% por cada 5 cm de profundidad en huellas (Caterpillar, 2022).
- **Pendientes:** >6% incrementan el consumo en 1.5 L/km (Komatsu, 2021).
- **Estado de vías:** Lastrado inadecuado eleva el desgaste de neumáticos en 30% (Michelin, 2020).

En Las Bambas, un análisis de 2022 reveló que optimizar rutas redujo el consumo anual en 120,000 litros de diésel (MMG, 2022, p. 45). La Tabla 6 muestra la correlación:

Tabla 6: Factores de eficiencia energética

Variable	Ahorro potencial	Estudio de caso
Velocidad constante	12-18% menor consumo	Komatsu (2021)
Mantenimiento de vías	9% reducción en costos	MMG (2022)
Neumáticos correctos	25% más vida útil	Michelin (2020)

Fuente: Las Bambas (2022)

Rendimiento real (RR).

El rendimiento real se define como la capacidad productiva que una maquinaria pesada logra en condiciones habituales de operación, considerando las interrupciones que surgen en el desarrollo de las labores contando entre los factores que influyen en esta reducción se encuentran las precipitaciones, las averías inesperadas, los procesos de mantenimiento, la mayor o menor adecuación de la máquina a la tarea específica, el estado técnico del equipo y, de manera significativa, las destrezas del operador. Por tal motivo, este valor se ubica, en la práctica, por debajo del rendimiento nominal, o en el mejor de los casos, lo iguala (Huingo, 2013). En términos generales, el rendimiento de un equipo de movimiento de tierras o de construcción se expresa como la cantidad de material, ya sea en volumen o peso, que se excava, transporta, mueve o compacta dentro de un periodo de tiempo determinado, esta medición puede realizarse a través de observaciones directas en campo,

aplicaciones de fórmulas teóricas o mediante las tablas de referencia elaboradas por los fabricantes.

Las casas fabricantes, por su parte, suelen publicar manuales técnicos en los que establecen los rendimientos teóricos de cada modelo, sustentados en ensayos de laboratorio, simulaciones computacionales, pruebas de campo y la experiencia acumulada en operaciones previas y el nivel de productividad alcanzado está condicionado, principalmente, por el tamaño y la eficiencia del órgano excavador (ya sea cuchara, hoja, caja o banda transportadora) y por la duración del ciclo operativo. Este último depende, a su vez, de la velocidad con que se realiza la carga, el desplazamiento, la descarga y el retorno del equipo al punto de inicio (Huingo, 2013)

Rendimiento del equipo

Al seleccionar una máquina, es indispensable que esta cumpla con las condiciones técnicas para las cuales fue diseñada, pues su adquisición debe responder a un análisis de necesidades específicas, reforzado por la experiencia operativa de quienes han trabajado con equipos similares ya que el éxito o fracaso en la productividad de las máquinas depende, en gran medida, de la correcta aplicación en el trabajo para el cual fueron destinadas.

Para maximizar su desempeño, es necesario conocer en detalle sus características técnicas, las condiciones óptimas de uso y las variables que influyen directamente en su rendimiento, como los aspectos físicos, mecánicos y humanos, por lo que se requiere una selección y adaptación constante del equipo a las exigencias de la obra. De igual forma, el rendimiento teórico que establece el fabricante suele diferir del real, dado que se encuentra afectado por parámetros como el coeficiente de utilización y el coeficiente de eficiencia, que ajustan los valores a las condiciones particulares de operación:

$$\text{Índice rendimiento} = \frac{\text{Horas hasta el reporte} - \text{horas acumuladas último PM}}{\text{Horas hasta el reporte}}$$

Donde:

PM= Mantenimiento preventivo

Con esto se puede establecer los índices para los rendimientos efectivos, esperados y perdidos, que serían el diferencial de los anteriores.

6. Tecnología para monitoreo de flotas

Sistemas como **GPS y telemetría** permiten:

- **Ruteo inteligente:** Minera Escondida logró reducir 7% los tiempos de ciclo (Rio Tinto, 2023).
- **Detección de fatiga del operador:** Sensores disminuyeron accidentes en 35% (Sandvik, 2022).
- **Análisis predictivo:** Antapaccay optimizó mantenimientos con IA (Glencore, 2021).

Tabla 7: Tecnologías aplicables

Sistema	Beneficio	Precisión
GPS en tiempo real	+22% eficiencia en rutas	±2 m
Sensores de carga	15% menos sobrepeso	99.5% confiabilidad
IA para mantenimiento	30% menos fallas	92% acierto en diagnósticos

Fuente: Rio Tinto (2023), Sandvik (2022) y Glencore (2021).

7. Impacto ambiental de las vías mineras

La construcción de vías alternas debe considerar:

- **Emisiones de CO₂:** 1 km de vía genera 150 toneladas de carbono (ICMM, 2022).
- **Drenaje superficial:** Sistemas deben captar el 90% de sedimentos (EPA, 2021).
- **Revegetación:** 5 especies nativas/hectárea son obligatorias en Perú (MINAM, 2020).

Tabla 8: Indicadores ambientales

Criterio	Meta	Instrumento
Huella de carbono	<100 t CO ₂ /km/año	ISO 14064
Calidad del agua	<50 mg/L sólidos suspendidos	Monitoreo SEMARNAT
Restauración	80% cobertura vegetal en 3 años	Resolución MINAM 021-2020

Fuente: ICMM (2022), EPA (2021) y MINAM (2020).

2.13 Construcción de un camino minero

Durante la ejecución de un camino, ya sea en tramos horizontales o en pendientes, el responsable tiene la responsabilidad de restringir el acceso a la zona en construcción mediante conos de señalización, permitiendo únicamente el ingreso del personal autorizado y bajo comunicación radial permanente. En esta etapa, resulta indispensable emplear estacado topográfico permanente para asegurar las alineaciones proyectadas, así como niveletas que garanticen la conservación de las pendientes de diseño, evitando con ello retrabajos que incrementen los costos de operación, ya que cuando la maquinaria disponga de sistemas computacionales integrados o modulares, estos deben emplearse como fuente primaria de información, lo que permite optimizar recursos y liberar al área de topografía para que ejecute labores complementarias en la mina. No obstante, el apoyo topográfico sigue siendo necesario en labores de verificación.

En cuanto al material de conformación, este debe provenir de los equipos de extracción, considerando sus propiedades de calidad para evitar la dilución de la ley en sectores mineralizados en donde se recomienda no utilizar material grueso en la carpeta de rodadura, salvo que exista una capa de material fino con un espesor mínimo de 40 cm, libre de fragmentos mayores a 10 cm. ya que dichos elementos terminan aflorando con el tránsito, constituyendo un riesgo para neumáticos y vehículos livianos. Aunque la bibliografía técnica sugiere emplear rodillos compactadores acompañados de ensayos de control, en el contexto de caminos temporales mineros la compactación se logra principalmente con el tránsito continuo de camiones de gran tonelaje, previa nivelación con motoniveladora y riego adecuado por lo que se debe controlarse el uso del Ripper y

realizar una supervisión constante para retirar los bolones que puedan emerger en la superficie (Villalobos, 2013).

Pendientes

Las pendientes deben respetar estrictamente los parámetros de diseño. Para los caminos de acarreo principal, la inclinación no puede superar el 10%, mientras que en rampas auxiliares de acceso el límite se reduce a un máximo de 8%, dependiendo del tipo de equipo y de las recomendaciones técnicas vigentes. (Villalobos, 2013)

Curvas

Las curvas, tanto en alineamientos horizontales como verticales, deben ser calculadas, replanteadas y verificadas siguiendo el diseño proyectado. El LLGG encargado debe coordinar directamente con el ingeniero de terreno para resolver cualquier inconsistencia, asegurando que las condiciones finales favorezcan la fluidez y seguridad del tránsito vehicular. La combinación de curvas horizontales y verticales no se recomienda, aunque su aplicación puede justificarse según la geometría local del terreno; en estos casos, lo esencial es garantizar visibilidad suficiente y seguridad operativa para los equipos de acarreo.

Para la materialización de estas obras en campo, lo ideal es emplear los GPS de alta precisión integrados en los equipos. Si no se dispone de esta tecnología, debe solicitarse apoyo al área de topografía. Asimismo, cuando las condiciones lo ameriten, es recomendable instalar espejos en curvas internas del pit, mejorando el rango de visibilidad de los conductores.

Los peraltes constituyen otro aspecto crítico del diseño geométrico. Estos deben ser calculados y replanteados en concordancia con las especificaciones técnicas, y su ejecución debe estar bajo monitoreo constante del LLGG responsable. Una vez finalizada la construcción, se sugiere realizar pruebas prácticas como copiloto en un camión, a fin de evaluar el comportamiento dinámico del peralte y determinar posibles mejoras. En campo, no se deben aplicar peraltes diferenciados por pistas, ya que estos representan un riesgo para la conducción. En su lugar, se recomienda implementar peraltes a lo ancho de toda la calzada, lo que posibilita que los camiones puedan cambiar de carril sin modificar su velocidad, preservando las condiciones de seguridad operacional. La Figura N°39

ilustra el perfil transversal resultante a medida que se desarrolla el peralte (Villalobos, 2013).

Pretilos

En los caminos internos de una mina, la normativa de seguridad establece que, cuando circulen camiones de gran tonelaje, debe disponerse un pretil lateral con una altura mínima de 1,80 metros. No obstante, el LLGG responsable puede determinar la necesidad de superar este valor estándar, en especial en zonas donde el riesgo de volcamiento o caída a otro nivel es elevado. En tales circunstancias, se aconseja la construcción de pretilos con 2,5 metros de altura y una base de al menos 6 metros de ancho, lo que proporciona mayor estabilidad y resguardo.

En sectores de cruces e intersecciones, se recomienda rebajar los pretilos hasta 1 metro de altura en un tramo longitudinal de 5 metros, con el propósito de optimizar la ubicación de las señales de tránsito y favorecer la visibilidad de los vehículos livianos que operan en la faena. En el caso de curvas, la conformación de los pretilos debe ejecutarse únicamente después de haber completado el peralte del camino, pues de lo contrario podrían generarse bordes por debajo de los estándares en la parte externa de la curva.

La conservación de los pretilos demanda atención especial: durante el mantenimiento de caminos con motoniveladoras o tractores neumáticos, está prohibido acumular material en su base, ya que este puede ocasionar daños en los neumáticos o, peor aún, actuar como rampa que facilite el paso de los vehículos sobre el pretil. Por tal motivo, se sugiere depositar el material excedente en lugares apartados del flujo vehicular, desde donde pueda retirarse posteriormente con cargadores frontales.

En áreas donde las paredes resulten inestables o cuando la explotación de bancos superiores lo amerite, es recomendable construir pretilos adicionales sobre los bordes de los bancos adyacentes al camino, a fin de reforzar la seguridad de la circulación. Las fotografías presentadas por Villalobos (2013) muestran ejemplos de pretilos diseñados con precisión geométrica, materiales adecuados y una disposición que responde a recomendaciones técnicas y al respaldo topográfico. (Villalobos, 2013)

Señales de tránsito

Las señalizaciones viales dentro de la mina cumplen un papel esencial, pues orientan, advierten y regulan el flujo vehicular, eliminando ambigüedades y reduciendo riesgos y su ubicación debe responder tanto a las características del camino como a los flujos de transporte previstos por los planificadores. Así, en los cruces deben instalarse señales reglamentarias, como Pare o Ceda el Paso; en rectas y curvas, se requiere la presencia de indicadores de velocidad máxima y señales preventivas de aproximación; mientras que en zonas específicas se deben colocar aquellas de información y cambio de frecuencia.

Para cumplir su función, estas señales han de respetar los principios generales de todo sistema vial: operatividad, uniformidad, claridad, ubicación estratégica y visibilidad permanente. En consecuencia, deben instalarse conforme a lo definido en el diseño original, incorporando además toda señal adicional que incremente la seguridad del tránsito. Es indispensable que su montaje no genere riesgos de caída ni obstaculice la visión de los conductores, siendo preferibles aquellas con bases estables que aseguren su permanencia en terreno. En los cruces de caminos, la instalación debe favorecer especialmente la visibilidad de los vehículos livianos, mientras que en los sectores de stock y botaderos resulta obligatorio señalar adecuadamente las zonas de descarga y rotular con claridad los nombres asignados a cada área. (Villalobos, 2013)

2.6 Características en el estado de las vías mineras

2.6.1 Lastrado de vías con material grueso con presencia de aristas

El procedimiento denominado lastrado de vías constituye una forma de mantenimiento preventivo frecuente, aplicado en intervalos cortos de tiempo, aproximadamente cada tres días, según diversas investigaciones, este proceso consiste en la descarga sobre la superficie de rodadura de un material grueso no tratado, proveniente de la voladura, con tamaños promedio que oscilan entre 4 y 6 pulgadas. Dicho material es extendido en capas delgadas, de alrededor de 10 cm de espesor, utilizando motoniveladoras de gran capacidad (como los modelos Cat 24M o 24H), que facilitan su distribución uniforme. Posteriormente, el tránsito de camiones pesados se encarga de compactar de manera progresiva la superficie, obteniéndose así una vía relativamente nivelada en donde la presencia de partículas de gran diámetro aporta resistencia estructural y capacidad de

soporte frente a las elevadas cargas de los equipos mineros. No obstante, durante episodios de fuertes precipitaciones, el arrastre de los finos genera un reacomodo de las piedras, fenómeno que produce hundimientos o baches en la carpeta de rodadura.

2.6.2 Desgaste prematuro de neumáticos

Uno de los problemas recurrentes en las faenas mineras es el rápido deterioro de los neumáticos, causado directamente por el tipo de material utilizado en la conformación y mantenimiento de las vías, dado que este lastre proviene de voladuras sin tratamiento adicional, presenta una granulometría deficiente y aristas angulosas que dificultan la compactación, reduciendo la densidad de la capa. Como consecuencia, gran parte de las rocas menores no logra acoplarse adecuadamente, lo que genera superficies irregulares que incrementan la fricción con las llantas, y con el tiempo este material suelto debe ser retirado mediante cargadores frontales y camiones, lo cual reduce de manera significativa el ancho operativo de la vía, afectando la eficiencia de la circulación.

2.6.3 Reducción del ancho operativo de la vía

Las precipitaciones intensas representan otro factor crítico, ya que provocan la acumulación de lodos y exceso de lastre en los laterales de la vía, lo cual ocurre principalmente cuando no existen sistemas de drenaje efectivos que permitan la evacuación natural del agua por gravedad produciendo la reducción del espacio útil para la circulación, obligando a que los vehículos livianos cedan el paso prioritario a los de mayor tamaño, al mismo tiempo que se disminuyen las velocidades de desplazamiento. En este contexto, las minas establecen una jerarquía de circulación que otorga la mayor prioridad a los camiones mineros, seguida por la maquinaria de línea amarilla, posteriormente la de línea blanca, y en último lugar los vehículos livianos.

2.6.4 Existencia de baches pronunciados

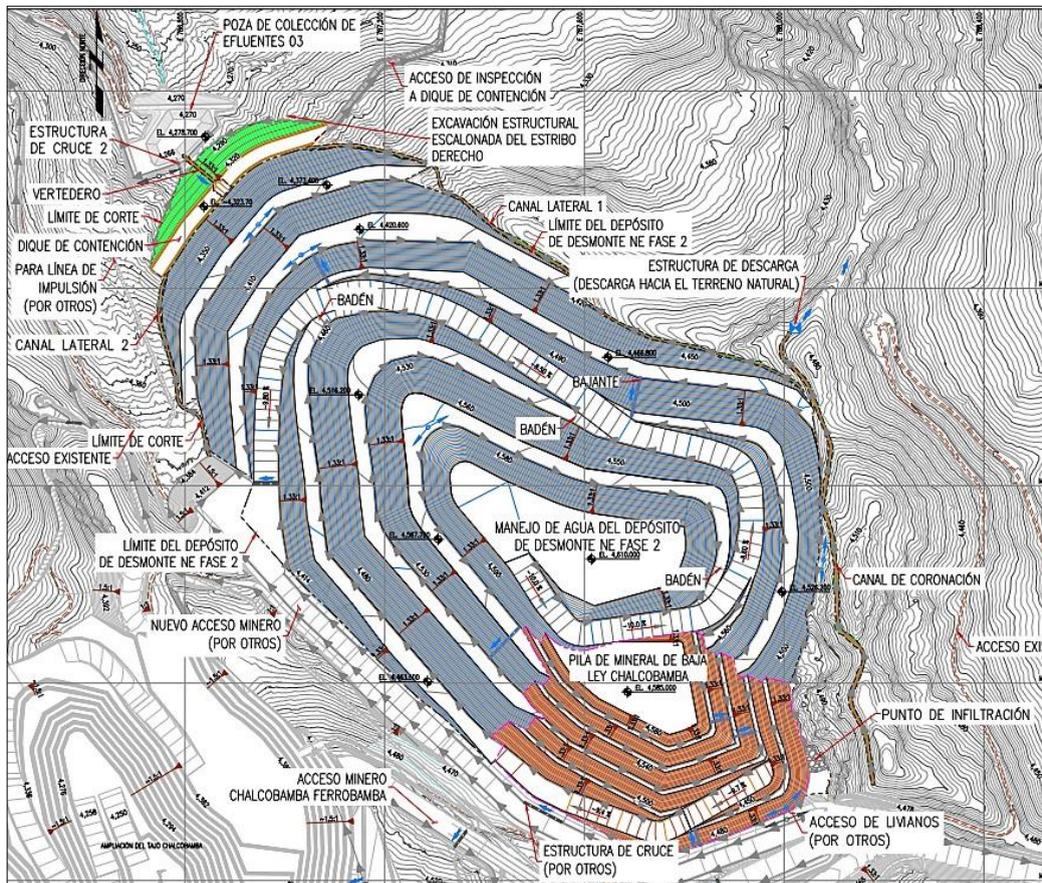
La presencia de una pendiente transversal inferior al 2% impide un drenaje adecuado, lo que ocasiona que el agua de lluvia se acumule en zonas de baja inclinación. Al concentrarse en estos puntos, el agua arrastra los finos y deja expuestas las partículas más grandes, dando origen a baches profundos en la calzada, por lo que la aparición de estas irregularidades no solo compromete la seguridad del tránsito, sino que también obliga a

reducir de manera considerable las velocidades de operación de camiones y vehículos livianos, afectando la productividad y generando mayores costos de mantenimiento.

2.7 Desbroce de material

A continuación, se presenta una breve descripción de los componentes del proyecto que forman parte del presente alcance de proyecto. En la siguiente figura se muestra el arreglo del Depósito de Desmonte Noreste, la Pila de mineral de baja ley y el dique de contención.

Figura 5. Arreglo de material inadecuado en una unidad minera a cielo abierto



Fuente: Extraída de MMG Las Bambas

El depósito de desmonte noreste fue concebido como espacio de almacenamiento para los materiales estériles generados durante el proceso de explotación del tajo Chalcobamba, en función de las proyecciones operativas del proyecto Las Bambas, se diseñó la disposición y el método de apilamiento de este componente para garantizar un manejo

ordenado de los volúmenes previstos. En su fase final, el depósito tendrá la capacidad de albergar aproximadamente 255 millones de toneladas (MT) de desmonte, mientras que la pila destinada al mineral de baja ley alcanzará un volumen estimado de 12,87 MT. El inicio del apilamiento de este último se programará una vez concluida la disposición del material en el depósito de desmonte, lo cual se proyecta hacia el décimo año de operaciones.

Las labores iniciales de preparación del terreno incluyen la remoción de la capa vegetal, raíces, árboles y otros materiales inadecuados, que posteriormente deberán trasladarse y colocarse en pilas dentro de las áreas de desmonte previamente asignadas, así como la excavación del terreno se ejecutará bajo estricta supervisión técnica con el fin de verificar la extensión y la profundidad real del suelo orgánico presente.

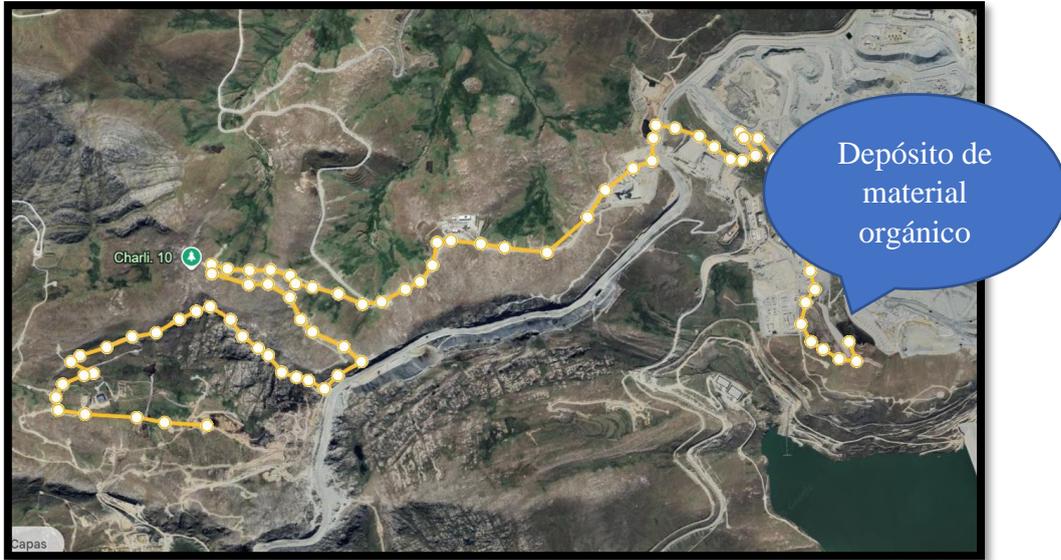
El material orgánico recuperado será almacenado únicamente en depósitos autorizados. Entre los puntos de acopio habilitados se encuentran los depósitos de material orgánico de la zona XP, ubicados a aproximadamente 11 km, y el depósito destinado a material inadecuado en el sector noreste del desmonte Ferrobamba, localizado a unos 2,5 km de distancia.

Figura 6. Botadero del tajo Chalcobamba



Fuente: Extraído de Google Earth.

Figura 7. Recorrido de acarreo del botadero hacia el DMO



Fuente: Extraído de Google Earth.

2.7.1 Excavación de material inadecuado

Una vez retirado el material orgánico superficial, será necesario proceder con la remoción de aquellos suelos considerados inadecuados con el fin de garantizar una base de cimentación estable que resista las cargas generadas por el relleno de desmote proveniente de la operación minera destinado a la conformación de Chalcobamba, Fase I, que es el nuevo botadero

Se entiende por material inadecuado a los suelos que de acuerdo con su inspección visual no cumplen con las propiedades geotécnicas requeridas para funcionar como cimiento, debido a la presencia de tonalidades blanquecinas o a la falta de estabilidad en los taludes. Todo este material deberá ser acopiado en el sector norte del depósito de desmote de Ferrobamba, donde será confinado para evitar interferencias con el desarrollo de la obra.

2.7.2 Excavación de bofedal y suelos morrenicos

En la zona proyectada para el botadero Chalcobamba Fase I y la zona ubicada de bofedal y suelos morrenicos, sobre los cuales se tendrá que realizar un mejoramiento del terreno para conformar la cimentación.

El botadero Chalcobamba Fase I, se ha dispuesto el retiro del material bofedal en una profundidad máxima de 17.0 metros o hasta alcanzar un estrado de suelo competente o roca, según se especifique en los planos y/o aprobación del supervisor de terreno.

Adicionalmente se debe considerar lo siguiente:

En caso de encontrarse material de bofedal luego de excavado las profundidades indicadas en los planos se debe colocar material de relleno masivo tipo 1, y compactar con el mecanismo pesado posible.

2.7.3 Límite de excavación

Es indispensable adoptar medidas preventivas que aseguren la preservación de las condiciones naturales fuera de los márgenes establecidos para la excavación. No obstante, en caso de identificarse suelos inestables, degradados o con riesgo potencial, estos deberán ser retirados del área de trabajo y trasladados hacia los espacios previamente destinados para el acopio de materiales de desecho.

2.7.4 Limpieza y retiro de material inadecuado

Residirá en excluir escombros y materiales ajenos a la superficie y el retiro de material inadecuado consistirá en retirar toda la vegetación existente, exceptuando las zonas de afloramientos rocosos y donde se identifiquen profundidades mayores, menores o sin presencia de topsoil (suelos residuales). Los materiales sacados tendrán que ser depositados exclusivamente en los lugares de acopio o botaderos previamente establecidos por la operación de Las Bambas. Una vez realizada dicha disposición, el área en cuestión será objeto de una verificación técnica y su conformidad deberá ser autorizada por el Ingeniero CQA o, en su defecto, por el ingeniero supervisor designado. Solo después de obtener esta aprobación será posible dar inicio a las labores de movimiento de tierras en cada uno de los sectores correspondientes.

Tabla 9: Cantidad de metros de limpieza y material inadecuado en las Bambas

Descripción	Cantidad
Limpieza y retiro de material inadecuado	734,239 m ²

Fuente: Extraída de MMG Las Bambas.

2.7.5 Cimentación

El trabajo para la conformación de la cimentación consiste en el retiro de los materiales no aptos para soportar las cargas impuestas por el botadero. Se ha dispuesto el retiro del material orgánico, inadecuado y suelo hidro mórfico. Para el presente alcance la configuración presenta los siguientes puntos:

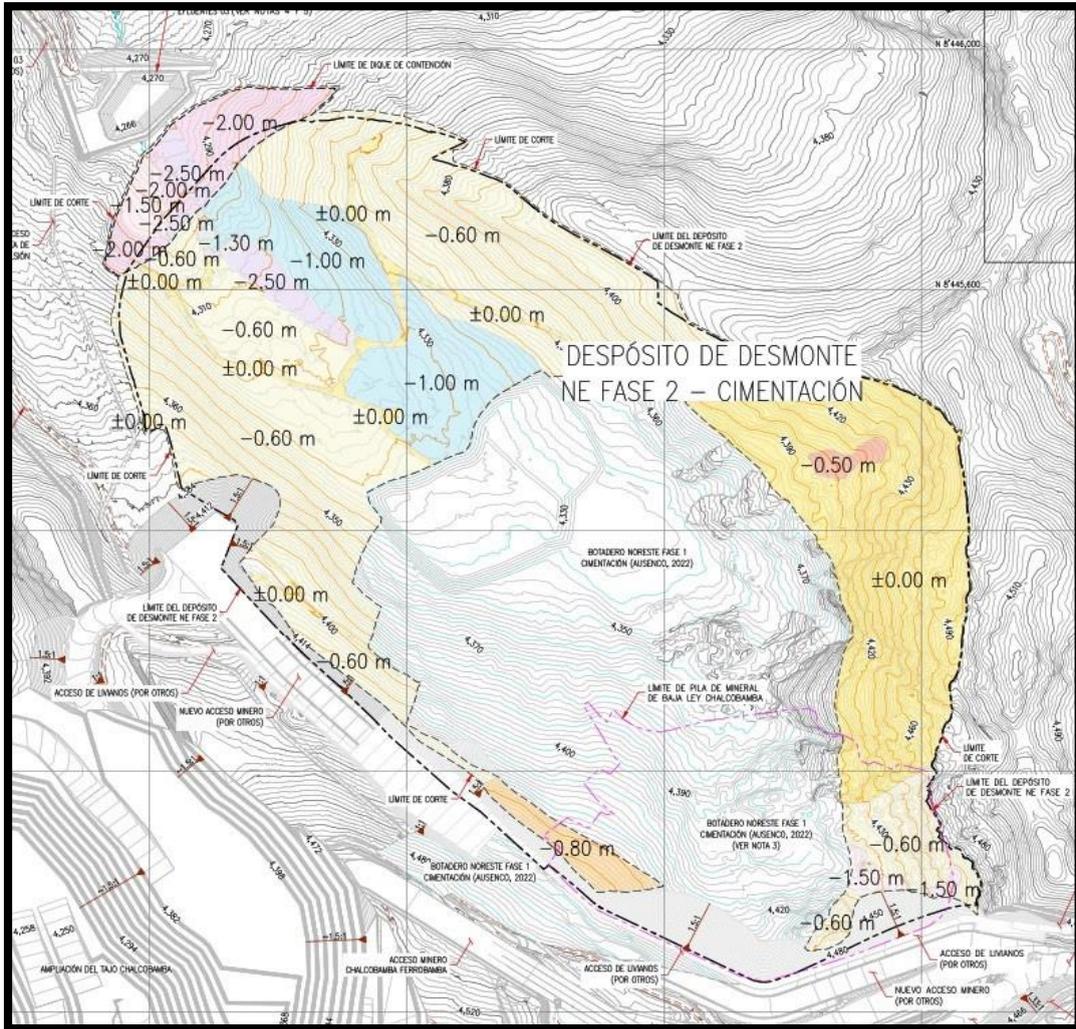
- ✓ Para zonas donde haya la presencia de suelo hidro mórfico, alcanza profundidades de excavación hasta 2.5 m.
- ✓ Se han realizado excavaciones para eliminar el material inadecuado en la cimentación, estas excavaciones llegan a profundidades que van desde 0.5 m hasta los 2.50 m, para alcanzar un estrato competente o roca, según se especifica y/o pueda ser verificado por el Ingeniero de CQA, en campo.
- ✓ Los volúmenes obtenidos de material orgánico, inadecuado y suelo hidro mórfico para alcanzar el nivel de cimentación.

Tabla 10: Total del volumen de material orgánico.

Descripción	Cantidad
Corte y eliminación de material orgánico	232,757 m ³
Excavación y eliminación de material inadecuado	204,394 m ³
Excavación y eliminación de suelo hidro mórfico	5,000 m ³
TOTAL	442151m³

Fuente: Extraída de MMG Las Bambas

Figura 8. Arreglo general del depósito de desmonte con profundidades de cimentación para excavación.



Fuente: Extraída de MMG Las Bambas.

El dique de contención, la Poza de colección de Efluentes 3, el sistema de subdrenajes, todos los canales de coronación, el sistema de manejo de agua superficial y el sistema de impulsión con su sistema eléctrico asociado no forman parte del presente alcance de construcción.

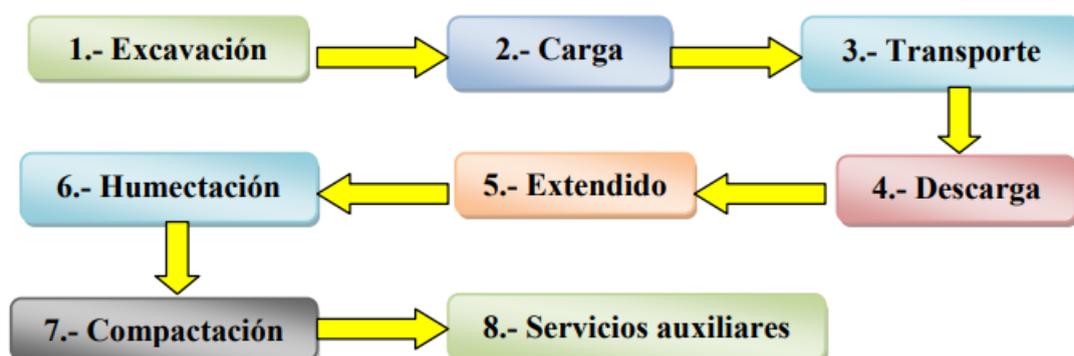
2.8 Operaciones unitarias de movimiento de tierras en el retiro de material inadecuado

Toda obra que implique manipulación del terreno atraviesa diversas fases: una de construcción, otra de operación y, finalmente, una etapa de cierre destinada a restituir el área a condiciones semejantes a las que existían antes de la intervención del proyecto.

2.8.1 Movimiento de tierras

El movimiento de tierras comprende el conjunto de acciones ejecutadas sobre los suelos naturales con el propósito de transformar su configuración original o de proveer materiales adecuados para la edificación de infraestructuras viales, proyectos mineros o procesos industriales. Estas operaciones, que se interrelacionan entre sí, suelen desarrollarse de la siguiente manera:

- Excavación: proceso mediante el cual se retira el material del terreno en bruto.
- Carga: consistente en disponer dicho material sobre el equipo de transporte.
- Transporte o acarreo: traslado del material hacia el lugar de disposición o utilización.
- Descarga: acción de depositar el material en el sitio previsto.
- Extendido: distribución uniforme del material descargado.
- Compactación: procedimiento que busca otorgar al suelo la resistencia y estabilidad requeridas.



2.8.2 Operaciones unitarias

A lo largo de las tres etapas finales de minado, comenzando con la barrenación y la excavación durante la explotación, y continuando a través del desarrollo y la explotación,

ciertas operaciones fundamentales son realizadas para liberar y transportar el material minado. El material extraído durante el minado varía ampliamente desde suelo no consolidado o roca quebrado hasta la roca INSITU más dura o compactada, gabro, cuarzo, y demás tipo de rocas,

Las operaciones unitarias se distinguen esencialmente por la maquinaria empleada en su ejecución. En la actualidad, la minería se encuentra altamente mecanizada, lo que ha reducido de manera considerable la intervención manual. De este modo, la principal diferencia entre las operaciones unitarias desarrolladas en minas a cielo abierto y aquellas realizadas en minas subterráneas radica, más que en el procedimiento, en la magnitud con que se llevan a cabo. En términos generales, el equipamiento utilizado en ambos métodos responde a principios y funciones semejantes, aspecto que se analizará a continuación:

El ciclo de producción es utilizado o modificado para adecuarse a condiciones del terreno que se tenga según el tipo de material y mineral que se vaya a extraer, el término ciclo implica que las operaciones sean secuenciales iniciando de una perforación con una determinada malla que tiene secciones de acuerdo al tipo de roca que se tiene y así mismo su dureza, para luego cargarlo con explosivo con una viscosidad de acuerdo a lo que se necesita que esto implica es la voladura, para luego ingresar con equipos de versatilidad de carguío que realizan la función de cargar a los equipos que posteriormente realiza el carguío con destino a los puntos que se requiera tanto de botadero y chancadora primaria, es así que en lo siguiente se realiza y describe lo necesario.

2.8.2.1 Carguío

Consiste en retirar el material fragmentado, ya sea mineral o capa vegetal superficial, desde el yacimiento para conducirlo hacia los distintos destinos, como las plantas de chancado, los depósitos de mineral en reserva o los botaderos de estériles, implicando la ejecución de diversas operaciones orientadas a garantizar que el traslado se realice de manera continua, segura y eficiente. En este punto se determinan tanto las zonas de carga como las direcciones en que se efectuará el carguío, lo cual abarca la ubicación de los frentes de trabajo, la disposición de los equipos de carga y la nivelación de los pisos operativos estableciendo la asignación del material hacia su destino final según las leyes de clasificación mineralógica y los volúmenes de tonelaje previamente estipulados (Codelco, 2001).

Existen diversos equipos de carguío cada uno con diferentes propiedades y características determinantes para su uso en una actividad minera. El tiempo de ciclo de un equipo de carguío consta del tiempo total que esta demora en realizar un pase descarga y regresar a su posición inicial, por ejemplo, el tiempo de ciclo de una pala será la suma de los tiempos de llenado del balde, giro hacia el camión, descarga, giro de retorno y posicionamiento para el llenado.

2.8.2.2 Acarreo

Son los encargados de transportar el material hacia el lugar de destino, se pueden clasificar en dos tipos.

- Continuos, como fajas transportadoras.
- Discontinuos, Todo tipo de camiones y volquetes. Existen varias dimensiones en cuanto a camiones mineros y volquetes, la elección de alguno de estos equipos estará principalmente en función de la producción requerida.

El tiempo de ciclo está determinado por la suma de tiempos de carguío, trayectos de ida, descarga, trayectos de retorno, y maniobras para posicionamiento en carguío.

Es importante tener en cuenta que la velocidad del equipo estará en función de la pendiente de los trayectos y de la resistencia a la rodadura.

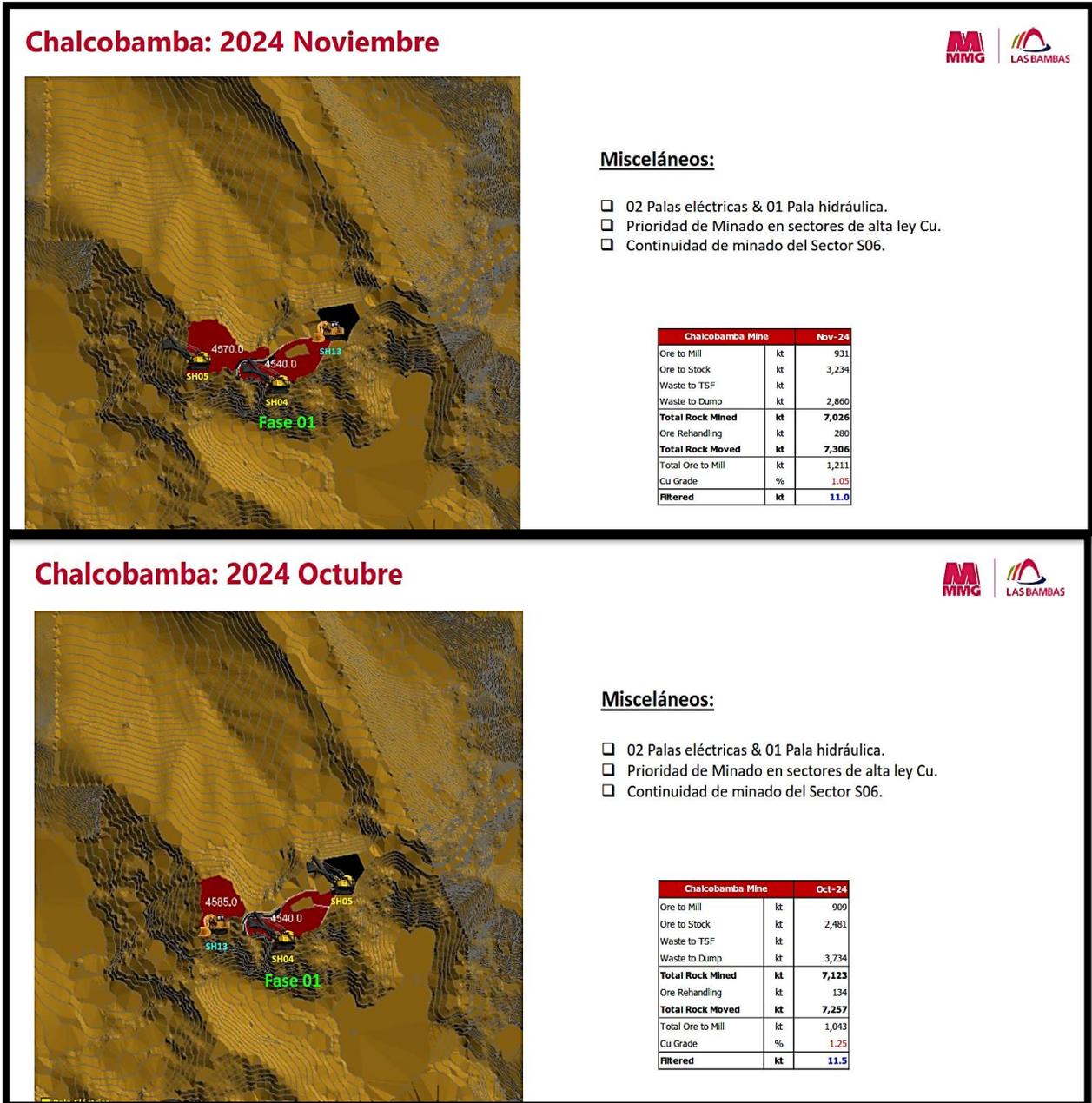
Los equipos de carguío y acarreo trabajan como un binomio, y por lo tanto deben tener cierta compatibilidad para asegurar una óptima operación y seguridad en los trabajos de movimiento de materiales.

2.9 Planeamiento de minado del tajo Chalcobamba

El planeamiento minero consiste en la implementación de diversos métodos de organización y proyección aplicados tanto en la minería a cielo abierto como en la subterránea, con el fin de diseñar, evaluar y ajustar el plan de explotación en función de las características del yacimiento, la ley del mineral, el tipo de método seleccionado, las condiciones geomecánicas y la disponibilidad de reservas, incorporando además criterios de rentabilidad económica que permitan maximizar los beneficios obtenidos por la comercialización de los recursos extraídos y de esta manera, el planeamiento de minado se orienta a definir con precisión el volumen de mineral a remover, la localización exacta

de su extracción y el momento oportuno para realizarla, garantizando así un flujo productivo estable y sostenido mes a mes.

Figura 9. Secuencia de minado.



Chalcobamba: 2025 Febrero



Misceláneos:

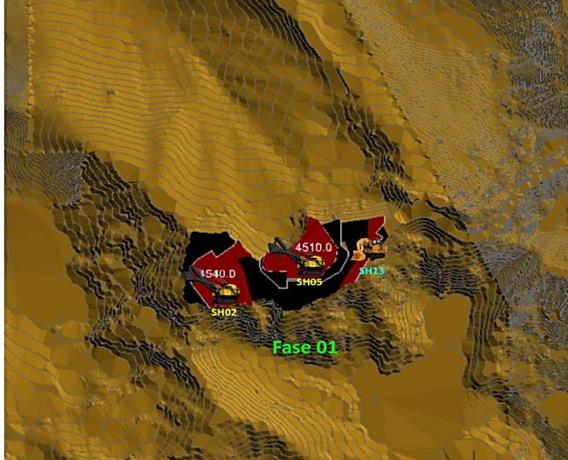
- 02 Palas eléctricas & 01 Pala hidráulica.
- Alta intensidad minado de Fase 01 con alta ley Cu.

Chalcobamba Mine		Feb-25
Ore to Mill	kt	1,998
Ore to Stock	kt	1,850
Waste to TSF	kt	
Waste to Dump	kt	1,192
Total Rock Mined	kt	5,040
Ore Rehandling	kt	278
Total Rock Moved	kt	5,318
Total Ore to Mill	kt	2,276
Cu Grade	%	0.89
Filtered	kt	16.7

Chalcobamba: 2025 Marzo



Figura 11: Fuente MMG LAS BAMBAS (secuencia de Minado)



Misceláneos:

- 02 Palas eléctricas & 01 Pala hidráulica.
- Alta intensidad minado de Fase 01 con alta ley Cu.

Chalcobamba Mine		Mar-25
Ore to Mill	kt	1,926
Ore to Stock	kt	1,996
Waste to TSF	kt	
Waste to Dump	kt	860
Total Rock Mined	kt	4,782
Ore Rehandling	kt	77
Total Rock Moved	kt	4,859
Total Ore to Mill	kt	2,003
Cu Grade	%	0.98
Filtered	kt	16.7

Chalcobamba: 2025 Abril



Misceláneos:

- 02 Palas eléctricas & 01 Pala hidráulica.
- Alta intensidad minado de Fase 01 con alta ley Cu.

Chalcobamba Mine		Apr-25
Ore to Mill	kt	1,139
Ore to Stock	kt	1,108
Waste to TSF	kt	
Waste to Dump	kt	4,239
Total Rock Mined	kt	6,487
Ore Rehandling	kt	52
Total Rock Moved	kt	6,539
Total Ore to Mill	kt	1,191
Cu Grade	%	1.03
Filtered	kt	10.6

Chalcobamba: 2025 Mayo



Misceláneos:

- 02 Palas eléctricas & 01 Pala hidráulica.
- Alta intensidad minado de Fase 01 con alta ley Cu.

Chalcobamba Mine		May-25
Ore to Mill	kt	943
Ore to Stock	kt	2,787
Waste to TSF	kt	
Waste to Dump	kt	3,301
Total Rock Mined	kt	7,032
Ore Rehandling	kt	1,568
Total Rock Moved	kt	8,600
Total Ore to Mill	kt	2,511
Cu Grade	%	0.74
Filtered	kt	15.9

Chalcobamba: 2025 Julio

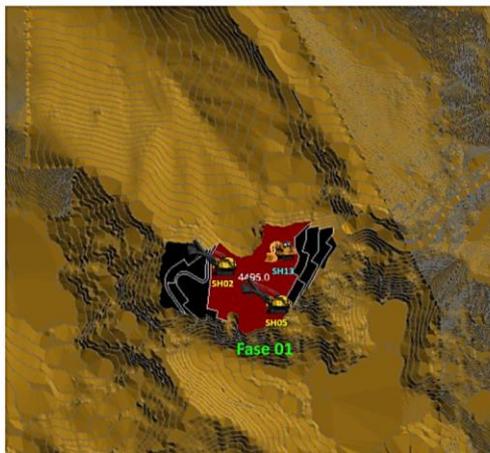


Misceláneos:

- 02 Palas eléctricas & 01 Pala hidráulica.
- Alta intensidad minado de Fase 01 con alta ley Cu.

Chalcobamba Mine		Jul-25
Ore to Mill	kt	1,038
Ore to Stock	kt	2,562
Waste to TSF	kt	
Waste to Dump	kt	3,697
Total Rock Mined	kt	7,296
Ore Rehandling	kt	500
Total Rock Moved	kt	7,796
Total Ore to Mill	kt	1,538
Cu Grade	%	0.91
Filtered	kt	11.9

Chalcobamba: 2025 Agosto



Misceláneos:

- 02 Palas eléctricas & 01 Pala hidráulica.
- Alta intensidad minado de Fase 01 con alta ley Cu.

Chalcobamba Mine		Aug-25
Ore to Mill	kt	959
Ore to Stock	kt	2,412
Waste to TSF	kt	
Waste to Dump	kt	3,413
Total Rock Mined	kt	6,785
Ore Rehandling	kt	500
Total Rock Moved	kt	7,285
Total Ore to Mill	kt	1,459
Cu Grade	%	0.96
Filtered	kt	11.9

Fuente: Extraída de MMG Las Bambas .

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo y nivel de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El presente estudio se enmarca dentro del enfoque Cuantitativo, dado que se fundamenta en principios propios de la ingeniería y en la aplicación de técnicas objetivas de medición. Su finalidad principal es optimizar los tiempos de producción y aportar evidencias claras que permitan identificar mejoras concretas en los procesos operativos (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

3.1.2 Nivel de investigación

La investigación posee un carácter descriptivo, evaluativo y propositivo. Es descriptiva porque caracteriza la situación actual del proceso bajo análisis; evaluativa, ya que contrasta y analiza los resultados obtenidos con los parámetros existentes; y propositiva, en la medida en que plantea y valida acciones orientadas a superar la problemática identificada, en concordancia con lo expuesto por Arias (2020).

3.1.3 Diseño de investigación

El diseño adoptado corresponde a un estudio longitudinal, ya que como indica Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), puesto que se consideran los valores de producción presentes y se comparan con los resultados esperados en un periodo de tres meses. Esto permite observar las variaciones y determinar los efectos de la propuesta en un horizonte temporal definido.

3.2 Población y muestra

La población objeto de estudio está compuesta por la flota de 25 volquetes destinados al transporte de material orgánico desde el nuevo botadero hasta el área de acopio temporal de topsoil. Para efectos de la muestra, se analiza igualmente la flota entera, su desempeño considerando los tiempos improductivos generados principalmente por las esperas ocasionadas en el cruce del Haul Road, situado en la ruta de tránsito entre ambos puntos de operación.

3.3 Técnica e instrumentos de recolección de información

3.3.1 Técnicas

Las principales técnicas que se utilizaran en la investigación son:

- Documental.
- Encuesta.
- Simulación
- Análisis costo-beneficio

3.3.2 Instrumentos

El principal instrumento que se aplica es:

- Ficha documental.
- Libreta de campo.

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN DE UNA VIA ALTERNA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION

4.1 Situación actual del acarreo desde el botadero del tajo Chalcobamba hasta el DMO (Depósito de Material Orgánico)

En la actualidad, el acarreo de materiales como desmonte e inadecuado para la construcción del nuevo botadero del Tajo Chalcobamba se realiza a través de una ruta operativa que presenta importantes limitaciones, especialmente en el tramo de cruce obligatorio por la vía Haul Road. Este punto constituye un cuello de botella que afecta directamente el rendimiento de la flota de volquetes.

La ruta actual comprende aproximadamente 11 kilómetros desde el punto de carguío hasta el depósito temporal de material (top soil y desmonte). De ese trayecto, cerca de 7.5 km se superponen con el tránsito de los camiones mineros de gran tonelaje que operan entre los tajos Ferrobamba y Chalcobamba, generando una interrupción obligatoria del flujo vehicular para los volquetes.

El tiempo promedio de espera en el cruce del Haul Road se ha estimado entre 35 a 40 minutos por ciclo, lo cual representa una pérdida operativa significativa. En condiciones ideales, cada volquete debería completar un ciclo de acarreo en aproximadamente 49.5

minutos, permitiendo alcanzar hasta 9 viajes diarios por equipo. Sin embargo, debido a la espera en el cruce, el ciclo total se extiende hasta 85–95 minutos, reduciendo la frecuencia a solo 5 viajes por día.

Este retraso genera un descenso del 44% en la productividad esperada de la flota, afectando la programación general del movimiento de tierras, y desencadenando sobrecostos por horas máquina improductivas, penalizaciones contractuales y aumento de rotación de personal.

Adicionalmente, la congestión en la vía Haul Road incrementa los riesgos de incidentes viales y requiere una supervisión permanente de tránsito, elevando los costos operativos asociados a la seguridad. La flota de 25 volquetes actualmente moviliza un volumen de aproximadamente 1,875 m³ por día, lejos del objetivo proyectado de 3,375 m³ diarios.

Estos datos evidencian que la situación actual del acarreo es insostenible para los volúmenes requeridos por el proyecto y justifican plenamente la necesidad de implementar una vía alterna que segregue el tránsito, reduzca tiempos de ciclo y permita alcanzar los niveles de producción planificados de manera segura y eficiente.

4.2 Descripción de las etapas del proyecto de construcción del botadero

El proyecto presentado en la Tercera MEIA (Modificación del Estudio de Impacto Ambiental) de Las Bambas se estructura en tres fases claramente diferenciadas. La primera corresponde a la etapa de construcción, seguida por la fase de operación, y finalmente la etapa de cierre, en la cual se implementarán las medidas necesarias para restituir el área, buscando que sus condiciones se asemejen lo más posible a las que existían antes del inicio de las actividades del proyecto.

4.2.1 Descripción de la etapa de construcción del botadero

Durante la fase de construcción, las labores se enfocan en preparar los espacios destinados a la instalación y expansión de los componentes contemplados en la Tercera MEIA. Estas actividades incluyen prioritariamente la limpieza del terreno, la remoción del horizonte superficial de suelo orgánico (topsoil) y diversas operaciones de movimiento de tierras, tales como nivelación, excavaciones, rellenos y otras acciones específicas necesarias para garantizar la correcta implantación de cada infraestructura. Se prevé que, en este proceso,

se removerán aproximadamente 564,053.5 m³ de suelo orgánico y 1,101,527 m³ de material excedente, provenientes principalmente de los componentes de mayor magnitud, como los accesos hacia Chalcobamba, los caminos de exploración y los accesos a la cancha de nitratos. Asimismo, la ampliación de la pila de mineral de baja ley, el botadero de desmonte Ferrobamba y otros elementos de menor tamaño también requerirán la extracción de volúmenes considerables de suelo y material sobrante.

Tabla 11: Actividades de remoción de suelo orgánico y material excedente

Parámetro	Suelo Orgánico (m ³)	Material excedente (m ³)
Acceso a Chalcobamba	214,900	138,040
Plataformas de perforación y Acceso de exploración, Infill, geotécnicas e hidrogeológicas	37,508	0
Almacén de nitratos y Acceso de cancha de nitratos	4,051.89	29,237.31
Pila de Mineral de Baja Ley a 8.0 Mm ³	131,211	200,703
Botadero de desmonte Ferrobamba	114,540	51,8433
Almacén de neumáticos	0	1,005.8
Almacén de testigos 6 y 7	172.6	217.41
Almacén de contingencias	0	111.56
Oficinas para perforaciones	0	263.5
Garita sur manantiales y acceso	0	6,467.6
Cancha de volatilización	0	168
Garita de monitoreo geotécnico 3	0	0
Depósitos de suelo orgánico (Chuspiri, Ferro 1 al Ferro 4)	61,670	205,680
Estacionamiento de camiones	0	0
Campamentos Charcascocha y XP	0	0
Grupos electrógenos	0	0
Instalación de equipos el circuito de molibdeno	0	1,200
Total referencial	564,053.5	1,101,527

Fuente: Extraída de MMG Las Bambas

4.2.2 Depósito de material orgánico

El material orgánico, topsoil o suelo superficial, constituye la capa inicial del terreno sobre la cual se desarrollarán las diversas estructuras del proyecto Las Bambas. Por su escasa profundidad, esta capa requiere ser quitada con cuidado, preservada y almacenada en depósitos especializados para garantizar su posterior utilización durante las fases de cierre progresivo y cierre final de la mina.

Para lograr una gestión adecuada de este recurso, se construirán los depósitos de material orgánico (DMOs) Ferro 2, Ferro 3 y Ferro 4, así como la modificación de los DMOs

existentes en Chuspire y de la pila de suelo superficial actualmente denominada DMO Ferro 1. Estos depósitos permitirán almacenar de manera segura el topsoil generado durante los cortes necesarios para la instalación de nuevas estructuras, ampliaciones o facilidades adicionales del proyecto, haciendo especial énfasis en aquellas vinculadas al recrecimiento de la presa de relaves en sus distintas etapas. Se contempla también que el material orgánico resguardado en los DMOs será reincorporado progresivamente conforme se avance en el cierre de las operaciones mineras.

Figura 10. empuje de material orgánico con tractor D8 en DMO



Fuente: Extraída de MMG Las Bambas

4.3 Acarreo de material desmonte y drenante

Esta actividad está referida al carguío, acarreo y disposición del material resultante de las excavaciones de las zanjas para la construcción de los subdrenes. Este material deberá ser cargado, transportado y descargado en el Depósito de Material Excedente, (DME) Huancarane (a 9.1 km de la zona de trabajo), lugar indicado y autorizado por EL CLIENTE.

El alcance de esta partida incluye el transporte del material a una distancia de acarreo definida en kilómetros, según la ubicación de subdrenajes con respecto al DME (Depósito de Material Excedente) Huancarane, medido desde el centroide del área de trabajo hasta el centroide del área de descarga, a lo largo de la ruta de acarreo definida, o las rutas de longitud equivalente o menor aprobadas por EL CLIENTE.

Las distancias de acarreo se redondearán al décimo de kilómetro más cercano se tiene acordado por escrito la distancia de acarreo recorrida o se optará por definir una sola

distancia y ruta conocida al DME (Depósito de Material Excedente) Huancarane, no se deberá acarrear material fuera del DME (Depósito de Material Excedente) asignado, no variará su ruta de acarreo salvo acuerdo y autorización del CLIENTE.

Así mismo se tiene el cuadro de estimaciones para el control de reportabilidad según el tipo de material y la distancia que fue recorrido.

Tabla 12: Estimaciones para el control de reportabilidad y movimientos de tierra

2.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS - SUB DRENAJES DME	Unidad	Cantidad
2.01.01	Excavación para subdrenes	m3	28,915.00
2.01.02	Acarreo y eliminación de material inadecuado, (d<1km)	m3	28,915.00
2.01.03	Acarreo y eliminación de material inadecuado, (d>1km)	m3-km	234,211.50
2.01.04	Cama de arena, e=0.10 m	m3	1,515.00
2.01.05	Conformación de Relleno con Material Drenante - Subdrenes	m3	27,390.00
2.01.06	Acarreo de Relleno de Material Drenante, Distancia (d<1km)	m3	27,390.00
2.01.07	Acarreo de Relleno de Material Drenante, Distancia (d>1km)	m3-km	109,560.00
2.01.08	Conformación de Relleno con Material Filtro - Subdrenes	m3	18,445.00
2.01.09	Acarreo de Relleno de Material Filtro, Distancia (d<1km)	m3	18,445.00
2.01.10	Acarreo de Relleno de Material Filtro, Distancia (d>1km)	m3-km	73,780.00
2.01.11	Conformación de Botadero material inadecuado	m3	28,915.00

Fuente: Extraída de MMG Las Bambas

4.4 Acarreo de top soil

El acarreo de material orgánico es la prioridad mayor que se tiene en esta etapa de construcción del botadero Chalcobamba, tiene la siguiente secuencia; al momento de liberar las zonas se debe inmediatamente realizar la construcción de subdrenajes que se dio mayor detalle líneas arriba, así mismo teniendo esta construcción ya se procede a realizar el descargue de camiones mineros para generar una plataforma de arranque del botadero Chalcobamba.

Como se observara en las imágenes satelitales recientes se verifica la limitación del avance que se tiene, así mismo se verifica que toda la plataforma del botadero se encuentra en quebradas, es por este motivo que las excavadoras estripear el material orgánico teniéndolos acumulados para luego ser empujados con un equipo bulldozer a la parte inferior donde se tenga un acceso y realizar el punto de carguío, caso contrario que no se presente un acceso se procede a construir actualmente se está construyendo accesos de doble carril y vías principales, es por eso que se va mejorar la producción en lo que concierne a la fluidez de carguío, pero el problema aquí es el de acarreo como se mencionó anteriormente el problema de énfasis es el Acarreo, debido al tiempo de esperas en el Haul Road como se tiene de evidencia a continuación.

Figura 11. Punto de espera en el cruce del Haul Road



Fuente: Extraída de MMG Las Bambas

El tiempo de espera aproximadamente es de 35 min en promedio como se verifica en la imagen se genera colas de más de 10 vehículos por cada sentido.

Así mismo como se hizo de mención se tiene la evidencia de los acopios de material orgánico (Top Soil) desde una parte de la quebrada a un punto de acopio para luego proceder con su carguío, también cabe mencionar que cuando el material se encuentra saturado se acopia en un solo punto para esperar que seque y luego proceder a cargarlos y en tal caso se genera celdas de acopios para encapsularlo posteriormente no genere

inestabilidad en el botadero, debido a que el material orgánico tiene el aspecto limoso y en partículas.

Figura 12. Movimiento de Material orgánico



Fuente: propia

Figura 13. Punto de Carguío de material orgánico



Fuente: propia

4.5 Hoja de ruta de acarreo a los acopios

A continuación, se tiene las rutas de acopio correspondiente al desmonte y material orgánico así mismo se tiene una medida satelital proyectada debido a que la distancia va reduciendo debido al acarreo por la variante, es por eso que se tiene los siguientes cuadros adjuntados para evaluar el tiempo y proyectarlo en el mach factor en posterioridad de índice.

Figura 14. Recorrido de acarreo del botadero hacia el DMO



Fuente: Extraído de Google Earth

4.6 Tiempo de espera

En la garita Norte como se mencionó anteriormente se encuentra el cruce de Haul Road en la vía de los equipos livianos, el cual intercepta el tránsito con los camiones mineros que van del punto de acopio de mineral que queda a la altura del Tramo 9 perteneciente al Tajo Ferrobamba hacia el Tajo Chalcobamba en este entonces se tiene un control de tranquera que es regularizada por personal de piso (Vigía) quien mantiene cerrado este punto por coordinación de operaciones Mina y seguridad.

Esto fue implementado para minimizar la interacción de equipos livianos con los camiones mineros que pasan por el punto en mención, si bien es cierto se tiene siempre la prioridad de las unidades que realicen directamente la operación de acarreo de orgánico

y desmonte, en este sentido se tiene esos controles los cuales tienen un tiempo de espera de 35 min como mínimo y ciertas veces llegan a 45 min donde se tiene en espera ambos sentidos de tránsito, debido a este asunto se tiene demoras considerables en la planificación de la producción del acarreo del material sea desmonte o Top soil, el rendimiento, disponibilidad, producción así mismo es afectado directamente por este factor no planificado en la etapa de retiro de material inadecuado para iniciar el botadero de Chalcobamba.

Figura 15. Unidades en espera en el cruce del Haul Road



Fuente: propia

Figura 16. Equipos en espera tranquera de Haul Road



Fuente: Extraído de MMG Las Bambas

4.7 Evaluación técnica de la situación actual del acarreo en la ruta del Haul road

Para fundamentar científicamente la necesidad de implementar una vía alterna, se realizó un exhaustivo diagnóstico de la operación actual mediante un enfoque multidimensional que combinó tecnologías de monitoreo, análisis estadísticos y modelamiento computacional. Durante el periodo junio-agosto 2024, se implementó un sistema de seguimiento con dispositivos GPS de última generación (modelo Trimble® HD9000) que registró 472 ciclos completos de acarreo, generando una base de datos con más de 15,000 puntos de información. Los resultados revelaron que el tiempo promedio por ciclo alcanzó los 85 minutos, de los cuales 32.3 minutos (38% del total) correspondieron exclusivamente a tiempos de espera en el cruce del Haul Road.

El análisis estadístico, procesado con el software SPSS versión 29, demostró una correlación significativa (coeficiente $r=0.82$ con $p<0.05$) entre los tiempos de espera y la reducción en el número de viajes diarios, confirmando la relación causa-efecto. Paralelamente, el sistema SAP Mine RP permitió cuantificar los impactos económicos, evidenciando que los costos operativos actuales alcanzan USD 4.15 por m^3 transportado, con tres componentes críticos: combustible (42% del total), mantenimiento (28%) y penalizaciones por incumplimiento de horas máquina (18%). El modelamiento en

AutoCAD Civil 3D® incorporó parámetros de capacidad vial según el Manual DG-2014 del MTC, revelando que la ruta actual opera al 147% de su capacidad teórica, superando ampliamente el estándar recomendado del 85% para mantener flujos vehiculares eficientes.

Estos hallazgos se complementaron con entrevistas a profundidad a 15 operadores y 3 supervisores, cuyos testimonios coincidieron en señalar que las demoras generan: (1) estrés laboral por tiempos de espera impredecibles, (2) desgaste acelerado de componentes mecánicos debido a ciclos de ralentí prolongados, y (3) riesgos de seguridad por congestión vehicular en zonas de visibilidad limitada. La triangulación metodológica (datos cuantitativos + modelamiento + percepción operativa) validó la necesidad imperante de implementar una solución estructural.

4.8 Caracterización técnica de la flota operativa en el proyecto Chalcobamba

El desarrollo del proyecto de retiro de material inadecuado del botadero del Tajo Chalcobamba requiere una flota especializada cuyas especificaciones técnicas han sido optimizadas para las condiciones altimétricas (3,800-4,200 msnm) y las características del material a transportar. La selección de equipos se realizó considerando los estándares de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) y los requerimientos específicos de MMG Las Bambas.

La flota principal está compuesta por 25 volquetes Volvo FMX-440, equipados con motores D13C de 380/460 HP y cajas de cambios automatizadas, diseñados específicamente para operaciones en gran altitud. Estas unidades presentan una capacidad de carga útil de 15 m³ (36 toneladas métricas), con un consumo promedio de 58 litros de diésel por hora operativa. Los sistemas de telemetría incorporados (Volvo CareTrack®) permiten monitorear en tiempo real parámetros como: presión de neumáticos, temperatura de frenos y eficiencia de combustible.

Para las operaciones de carguío, se emplean 4 excavadoras CAT 336 con cucharón de 2.4 m³ de capacidad, equipadas con sistemas de control de carga inteligente (Cat® Payload) que optimizan el ciclo de carga en un 15%. El mantenimiento de vías se realiza con motoniveladora CAT 140k y rodillo liso de 12TN configuradas con sistemas Grade Control 2D para garantizar una vía óptima. Los trabajos de preparación y corte de terreno

se emplean tractores D8T con hoja semiuniversal de 10.3 m³ de capacidad, esenciales para la conformación de plataformas y corte de terreno en la construcción de la vía alterna.

La flota cumple con todos los requisitos del Reglamento de Seguridad Minera (DS 024-2016-EM), incluyendo: sistemas de detección de proximidad (Radar Based Collision Avoidance), cámaras perimetrales de 360° y dispositivos de monitoreo de fatiga del operador. Los datos de rendimiento se integran en la plataforma MineStar® de Caterpillar, que genera reportes automatizados de OEE (Overall Equipment Effectiveness), destacando una disponibilidad mecánica promedio del 88.7% durante el último trimestre.

4.9 Cuadro de producción proyectada

A continuación, se detalla los alcances propuestos con el match factor que se hizo en su momento para tener el cálculo del ciclo de acarreo proyectado con respecto al volumen material transportado por hora.

Tabla 13: Producción Proyectada.

Capacidad		
Excavadora	2.4 m ³	
Volquete	15 m ³	
# Pases	6.25	
Tiempo de Carguío		
# Real pases	6	
Tiempo por pase	22 seg	
Tiempo de Carguío	132 seg	
Tiempo de Carguío	2.2 min	
Velocidad de Volquetes		
Viaje Subida (cargado)	15.0	30.0 Km/hr
Viaje bajada (vacío)	30	30 Km/hr
Viaje (cargado)	4.2	8.3 m/seg
Viaje (vacío)	8.3	8.3 m/seg
Tiempo de Viaje		
	Tramo 1 (XP-B33)	Tramo 2(B33-Pampa)
Distancia de acarreo	6300	2360.66 m
Tiempo de viaje Cargado	1512.0	283.3 seg
Tiempo de viaje Vacío	756.0	283.3 seg
Tiempo de viaje Cargado	25.2	4.7 min
Tiempo de viaje Vacío	12.6	4.7 min
Tiempo de viaje total	37.8	9.4 min
Tiempo de Ciclo de acarreo		
Tiempo de cuadro y descarga	0.83	0.83 min
Tiempo Ciclo de acarreo	40.8	12.5 min

Fuente: Match factor

En el cuadro adjunto se tiene todos los detalles ingresados tanto el tiempo de maniobra, descarga, velocidades, distancia, tiempo de pases en el carguío teniendo esto lo contractual para el cálculo de rendimiento donde a continuación se hace la propuesta de toda la flota que se tiene realizando el acarreo de material orgánico.

Match Factor

$$Match\ Factor = \frac{Cantidad\ de\ camiones * Tiempo\ de\ ciclo\ de\ cargadores}{Cantidad\ de\ cargadores * Tiempo\ de\ ciclo\ de\ camiones}$$

- MF < 1: Exceso de Palas
- MF = 1: Acoplamiento perfecto
- MF > 1: Exceso de Volquetes

Aquí se tiene la formulación y aplicación del Match Factor donde en lo más próximo y resumido implica que si el resultado aplicado a la formula da aproximadamente a 1 o con un margen de +/- 0.1 significa que existe una compatibilidad de equipos para llevar fluido la operación de carguío y acarreo que se está realizando.

Así mismo se tiene el rendimiento y producción por la flota siendo el siguiente cuadro.

PARA 25 VOLQUETES					
Productividad					
Eficiencia	95%	%			
camiones	25	Und			
	Capacidad de volquete (m3)	Tciclo(min)	eficiencia %	Camiones	Productividad (m3/hr)
	15	49.5	95	25	392.65

Aquí se obtiene la producción por hora siendo 392.65 m3/hr, en este entender tenemos el ciclo de acarreo siendo el siguiente calculo:

Ciclo de Acarreo/volquete = 49.5 min

Tabla 14: Datos de los equipos de acarreo.

EQUIPO			17/06/2024	
FLOTA	MODELO	CODIGO	Hr / maquina	N° de viajes / día
CAMIONES VOLQUETES	VOLVO	Ccr-01	5.40	5.0
	VOLVO	Ccr -02	4.90	4.0
	VOLVO	Ccr -03	5.40	5.0
	VOLVO	Ccr -04	4.60	4.0
	VOLVO	Ccr -05	4.80	4.0
	VOLVO	Ccr -06	5.10	5.0
	VOLVO	Ccr -07	4.90	4.0
	VOLVO	Ccr -08	4.30	4.0
	VOLVO	Ccr -09	5.40	5.0
	VOLVO	Ccr -10	5.00	4.0
	VOLVO	Ccr -11	4.70	4.0
	VOLVO	Ccr -12	4.60	4.0
	VOLVO	Ccr -13	5.10	5.0
	VOLVO	Ccr -14	6.10	5.0
	VOLVO	Ccr -15	5.20	5.0
	VOLVO	Ccr -16	5.00	4.0
	VOLVO	Ccr -17	4.80	4.0
	VOLVO	Ccr -18	4.90	4.0
	VOLVO	Ccr -19	4.10	4.0
	VOLVO	Ccr -20	5.00	4.0
	VOLVO	Ccr -25	5.10	4.0
	VOLVO	Ccr -27	5.60	5.0
VOLVO	Ccr -30	4.90	4.0	
VOLVO	Ccr -31	5.30	5.0	
VOLVO	Ccr -32	5.00	4.0	

Fuente: Consorcio CCR / Propio

Como se verifica en el cuadro adjunto, los camiones realizan un total de:

	N° de viajes totales
Sumatoria de viajes	109 viajes

Si multiplicamos el número de viajes por la capacidad de los camiones se tiene lo siguiente:

N° total de viajes / día = 109 viajes

Capacidad de volquete = 15 m^3

Flota de camiones = 25 volquetes

Producción diaria = $109 \text{ viajes/día} * 15 \text{ m}^3$

Producción diaria = $1635 \text{ m}^3/\text{día}$

Producción mensual = $49050 \text{ m}^3/\text{mes}$

Siendo lo proyectado para transportar por mes $100\,000.00 \text{ m}^3 / \text{mes}$

Como se verifica se está perdiendo más del 50 % de producción de acarreo de material, teniendo baja utilización y tiempos improductivos en exceso.

Si se considera lo siguiente con los cálculos óptimos debería alcanzar a la meta.

Nº de viajes / día = 9 viajes

Capacidad de volquete = 15 m^3

Flota de camiones = 25

Producción diaria = $225 \text{ viajes/día} * 15 \text{ m}^3$

Producción diaria = $3375 \text{ m}^3 / \text{día}$

Producción mensual = $101250 \text{ m}^3/\text{mes}$

Perdida de traslado de material = $3375.00 - 1635.00$

Perdida de traslado de material = $1740 \text{ m}^3/\text{día}$

Como se verifica en lo contractual se puede evidenciar que sin embargo es prácticamente el 50% de productividad que se pierde este dato llevando a lo mensual se tendría el siguiente dato.

Producción / día = $1635 \text{ m}^3 / \text{día}$

Tiempo = 30 días / mes

Producción / mensual = $1635 * 30$

Producción / mensual = $49050 \text{ m}^3/\text{mes}$

Producción requerida = $100\,000 \text{ m}^3 / \text{mes}$

Producción Faltante = 100 000 – 49050

Producción Faltante = 50950 m3 /mes

Los cuadros siguientes es el resumen del mes de junio, siendo continuos y semejantes cada mes el resultado obtenido desde el mes de enero que se dio inicio a la presente.

Tabla 15: Datos resumidos del mes de junio de los equipos

EQUIPO			1/06/2024		2/06/2024		3/06/2024		4/06/2024		5/06/2024		
FLOTA	MODELO	CODIGO	Hr / maquina	Nº de viajes / día	Hr / maquina	Nº de viajes / día	Hr / maquina	Nº de viajes / día	Hr / maquina	Nº de viajes / día	Hr / maquina	Nº de viajes / día	
CAMIONES VOLQUETES	VOLVO	CCR-01	3.9	3	4.8	4	3.8	3	4.4	4	6.2	5	
	VOLVO	CCR-02	5.3	5	4.2	4	3.2	3	5.8	5	5.3	4	
	VOLVO	CCR-03	4.8	4	6.3	5	4.8	4	5.6	5	5	5	
	VOLVO	CCR-04	4.4	4	5.3	5	5	5	5.2	4	4.8	4	
	VOLVO	CCR-05	2.8	2	4.9	4	5.3	4	5.3	5	4.9	5	
	VOLVO	CCR-06	3.8	2	5.4	5	5.6	5	6.5	6	5.4	4	
	VOLVO	CCR-07	4.8	4	5.3	5	5.4	5	4.8	4	5.5	5	
	VOLVO	CCR-08	5.6	5	4.8	4	6.1	5	4.9	5	4.8	4	
	VOLVO	CCR-09	5.1	5	5.9	5	4	4	5.2	4	0	0	
	VOLVO	CCR-10	4.8	4	5.8	5	5.3	5	5.4	5	4.7	4	
	VOLVO	CCR-11	5.3	5	4.8	4	4.5	4	4.8	4	4.6	4	
	VOLVO	CCR-12	4.1	4	4.9	5	4.9	5	0	0	3.2	3	
	VOLVO	CCR-13	3.8	3	3.9	3	4.4	4	5.8	6	6.1	6	
	VOLVO	CCR-14	4.9	4	4.2	4	5.6	5	4.9	4	5	5	
	VOLVO	CCR-15	5.6	4	0	0	5.4	4	6.3	5	4.3	4	
	VOLVO	CCR-16	4.8	4	4.2	4	5.7	4	0	0	4.9	4	
	VOLVO	CCR-17	4.3	4	4.9	4	5.1	5	5.4	5	5	4	
	VOLVO	CCR-18	4.7	4	4.8	4	4.9	4	5.3	5	4.8	4	
	VOLVO	CCR-19	3.8	3	3.9	4	5.8	5	4.8	4	5.6	5	
	VOLVO	CCR-20	2.5	2	5.8	6	5.4	5	5.9	6	4.9	5	
	VOLVO	CCR-25	3.9	3	5.4	5	4.9	5	4.7	4	4.3	4	
	VOLVO	CCR-27	4.8	4	5.3	4	4.7	4	5.2	5	5.7	5	
	VOLVO	CCR-30	5.6	4	5	5	4.2	4	4.6	4	4.2	4	
	VOLVO	CCR-31	5.8	4	4.6	4	4.1	4	5.3	5	3.8	3	
	VOLVO	CCR-32	4.8	4	5.2	3	4.6	4	5.1	4	4.3	4	
					94		105		109		108		104

Fuente: Consorcio CCR / propio

EQUIPO			26/06/2024		27/06/2024		28/06/2024		29/06/2024		30/06/2024		
FLOTA	MODELO	CODIGO	Hr / maquina	Nº de viajes / día	Hr / maquina	Nº de viajes / día	Hr / maquina	Nº de viajes / día	Hr / maquina	Nº de viajes / día	Hr / maquina	Nº de viajes / día	
CAMIONES VOLQUETES	VOLVO	CCR-01	5.2	5	4.9	5	3.7	3	6.1	5	6	5	
	VOLVO	CCR-02	5	4	4.7	4	4.8	4	4.8	4	5.4	5	
	VOLVO	CCR-03	4.2	4	5.2	5	4.1	4	4.9	5	5.2	4	
	VOLVO	CCR-04	5.9	5	5	5	6.1	5	5.2	4	5	5	
	VOLVO	CCR-05	4.8	4	5.3	5	5.1	5	4.3	4	4.8	4	
	VOLVO	CCR-06	5.2	5	4.8	4	5	5	4.8	3	4.7	4	
	VOLVO	CCR-07	4.7	4	5.2	5	4.9	4	4.6	4	4.3	4	
	VOLVO	CCR-08	6	6	4.2	4	5.3	5	5.1	5	4	4	
	VOLVO	CCR-09	1.9	2	6.1	6	4.7	4	5	5	5.2	4	
	VOLVO	CCR-10	5.2	4	0	0	4.6	4	4.9	5	3.9	5	
	VOLVO	CCR-11	5.4	5	5.4	5	4.4	4	5.1	5	4.9	4	
	VOLVO	CCR-12	4.8	4	5.3	5	5.2	4	4.3	4	4.1	5	
	VOLVO	CCR-13	4.9	5	4.8	3	5	5	3.6	2	5.2	4	
	VOLVO	CCR-14	5.3	5	5.2	4	4.3	4	0	0	4.9	5	
	VOLVO	CCR-15	4.4	4	4.7	5	5.4	5	4.9	5	5.2	4	
	VOLVO	CCR-16	4.2	4	5	4	4.1	5	4.7	4	3.9	5	
	VOLVO	CCR-17	4.7	4	4.9	5	4	4	5.2	5	5.1	4	
	VOLVO	CCR-18	4.9	4	4.6	5	4.3	4	4.3	4	4.4	5	
	VOLVO	CCR-19	5.2	5	5.4	4	4.8	4	5.2	5	4.3	4	
	VOLVO	CCR-20	4.9	5	5.1	5	4.7	3	4.2	4	5.2	4	
	VOLVO	CCR-25	3.2	3	5.3	4	4.8	4	4	4	5	5	
	VOLVO	CCR-27	4.3	4	4.1	5	4.7	4	3.9	4	4.7	4	
	VOLVO	CCR-30	5.2	5	5	4	5.2	4	4.2	4	4.6	4	
	VOLVO	CCR-31	5.1	5	5	5	4.8	5	4.7	4	4.2	4	
	VOLVO	CCR-32	5.3	4	4.6	3	5.1	4	4.8	4	4.7	4	
					109		109		106		102		109

Fuente: Consorcio CCR / propio

Como se verifica en los cuadros adjuntados, se puede evidenciar que se tiene un sumatorio total del día con los números de viajes que se hicieron día a día, el muestreo es del mes de junio, donde a continuación tenemos el sumatorio total de los días con respecto a los números de viajes siendo el siguiente dato:

N° DE VIAJES	
SUMATORIA DE VIAJES	3235

Entonces se tiene el siguiente movimiento de material en función de m³ realizados en el mes de junio.

N° de viajes / mes = 3235 viajes

M3 / volquete = 15 m³

Producción mensual = 3235 viajes * 15 m³

Producción mensual = 48 525 m³/ mes

Producción Requerida = 100 000 m³ / mes

Producción faltante = 100 000 – 48 525

Producción faltante = 51 475 m³

Como se verifica en el cálculo realizado el faltante es aproximadamente el 50%, esto indica que no se logra la planificación mensual, de momento sin la propuesta licitada y ganada siendo lo proyectado el cálculo en mención.

4.10 Costos operativos de los volquetes

Los costos operativos en esta ejecución de trabajo se caracterizan por que son costos fijos en lo que corresponde a sus gastos generales, que esto implica que se tiene solo para el personal sin incluir algo adicional.

Así mismo se tiene en conocimiento que los equipos son arrendados en su totalidad, debido a que es una empresa que está iniciando una operación con esta magnitud de equipos.

Es por eso que los costos de alquiler con la producción de cada equipo nos dan una utilidad de ganancia, siendo el caso que no se cumpla se tendría perdidas en este asunto, en el siguiente alcance se detalla el carácter de horas mínimas de cada unidad y su precio operativo para hacer el comparativo de cuanto estamos perdiendo al no alcanzar las horas proyectadas máximas para la ejecución de este proyecto.

Tabla 16: Datos de las horas acumuladas de los Volquetes mes de junio.

EQUIPO				
FLOTA	MODELO	CODIGO	JUNIO	
CAMIONES VOLQUETES	VOLVO	CCR-01	128.1	
	VOLVO	CCR-02	139	
	VOLVO	CCR-03	145.9	
	VOLVO	CCR-04	142.1	
	VOLVO	CCR-05	131.4	
	VOLVO	CCR-06	148.3	
	VOLVO	CCR-07	147.6	
	VOLVO	CCR-08	151.4	
	VOLVO	CCR-09	130.1	
	VOLVO	CCR-10	144.8	
	VOLVO	CCR-11	141.9	
	VOLVO	CCR-12	136.9	
	VOLVO	CCR-13	139	
	VOLVO	CCR-14	132.3	
	VOLVO	CCR-15	141.6	
	VOLVO	CCR-16	130.8	
	VOLVO	CCR-17	144	
	VOLVO	CCR-18	137.7	
	VOLVO	CCR-19	140.4	
	VOLVO	CCR-20	137.4	
	VOLVO	CCR-25	133.3	
	VOLVO	CCR-27	136.5	
	VOLVO	CCR-30	130.3	
	VOLVO	CCR-31	137.8	
	VOLVO	CCR-32	135	
				3463.6

Fuente: Consorcio CCR / propio

El cuadro adjunto se tiene las horas acumuladas en el mes por cada unidad de volquete, siendo el contrato de arriendo de estos equipos con una cantidad mínima de 170 hrs como mínimo, en tal caso que no alcancen las horas se tendría que compensar al proveedor por cada unidad y a continuación se tiene el cálculo:

Horas mínimas / unidad = 170 hrs

Total de horas de las unidades/ junio = 3463.6 hrs

Nº de camiones = 25 unid

Lo que debió haber generado las unidades como mínimo con las horas mínimas sería la siguiente cantidad.

Horas producidas mínimas = 25 * 170

Horas producidas mínimas = 4250 hrs / flota

Horas acumuladas / junio = 3463.6

Tabla 17: Datos de las horas acumuladas de los Volquetes vs horas compensadas.

EQUIPO CCR						
FLOTA	MODELO	CODIGO	JUNIO	Horas Minimas	Horas faltantes	Horas compensadas
CAMIONES VOLQUETES	VOLVO	CCR-01	128.1	170	41.9	786.4
	VOLVO	CCR-02	139	170	31	
	VOLVO	CCR-03	145.9	170	24.1	
	VOLVO	CCR-04	142.1	170	27.9	
	VOLVO	CCR-05	131.4	170	38.6	
	VOLVO	CCR-06	148.3	170	21.7	
	VOLVO	CCR-07	147.6	170	22.4	
	VOLVO	CCR-08	151.4	170	18.6	
	VOLVO	CCR-09	130.1	170	39.9	
	VOLVO	CCR-10	144.8	170	25.2	
	VOLVO	CCR-11	141.9	170	28.1	
	VOLVO	CCR-12	136.9	170	33.1	
	VOLVO	CCR-13	139	170	31	
	VOLVO	CCR-14	132.3	170	37.7	
	VOLVO	CCR-15	141.6	170	28.4	
	VOLVO	CCR-16	130.8	170	39.2	
	VOLVO	CCR-17	144	170	26	
	VOLVO	CCR-18	137.7	170	32.3	
	VOLVO	CCR-19	140.4	170	29.6	
	VOLVO	CCR-20	137.4	170	32.6	
	VOLVO	CCR-25	133.3	170	36.7	
	VOLVO	CCR-27	136.5	170	33.5	
	VOLVO	CCR-30	130.3	170	39.7	
	VOLVO	CCR-31	137.8	170	32.2	
	VOLVO	CCR-32	135	170	35	

Fuente: Consorcio CCR / propio

Las horas compensadas son 786.4 hrs por el mes de junio.

Costo / hr = s/ 96.4

Horas / compensar = 786.40

Pago adicional al proveedor = $786.4 * 96.4$

Pago adicional al proveedor = s/ 75808.96

Como se verifica este monto es el que se pierde por compensación a los proveedores sin ser reconocidos por la falta de una mejora en esta situación.

CAPITULO V

RESULTADO Y DISCUSIONES

5.1 Resultados

5.1.1 Rendimiento de la flota de equipos de acarreo

La excavadora se constituye como el elemento central del grupo, dado que el desempeño de los volquetes depende directamente de su producción; si la excavadora no genera material, los camiones no pueden operar, tal como lo evidencia el análisis individual de rendimientos:

Tabla 18. Horas de rendimientos por equipos

EQUIPO	UNIDAD DE PRODUCCIÓN	RENDIMIENTO POR HORA
TRACTOR D-8	Metros cúbicos	245
EXCAVADORA 336	Metros cúbicos	220
VOLQUETE VOLVO FMX	Metros cúbicos	230
MOTONIVELADORA 140K	Metros cúbicos	140
RODILLO SC 11	Metros cúbicos	420

Fuente: Elaboración Propia (2024)

El desempeño de un volquete se encuentra directamente condicionado por su capacidad de carga, así como por los intervalos empleados en cada etapa del ciclo operativo, como el desplazamiento hacia el punto de carga, llenado, descarga y retorno, pero no depende sólo de dichas variables, también de aspectos de la propia unidad, como su estado mecánico, la forma en que es operada y el nivel de uso que se le asigna, y factores externos como las condiciones ambientales, la congestión vehicular y la eficiencia lograda en rutas alternativas recientemente habilitadas.

5.1.2 Construcción de una vía alterna en el cruce del Haul road

5.1.2.1 Diseño general

El problema de diseño de las vías, en una mina a cielo abierto es diferente en estos sentidos a una mina subterránea, ya que es un problema en tres dimensiones con profundidad variable, también incluye una cuarta dimensión correspondiente a la temporalidad de los caminos mineros ya que las rutas se generan y después se cortan o desaparecen con el avance de la mina. Para este estudio se tomó en consideración la secuencia de fases operativas en donde se materializó un camino incluyendo sus conexiones respectivas entre ellas y además la existencia de una serie de restricciones geométricas y técnicas que se deben respetar en todo momento.

El diseño del camino se realizó asegurando el tránsito de acuerdo con el tipo de vehículos que van a circular por la misma y la intensidad del tráfico de los volquetes.

5.1.2.2 Vía alterna

Una vía alterna es una vía alternativa de manera auxiliar dentro de operaciones mineras donde transitan los camiones mineros, equipos pesados, perforadoras, cisternas de agua y demás unidades de capacidades considerables, es por eso que una vía auxiliar como es la de segregación da un soporte de tránsito para resguardar a la unidad liviana como camionetas, buses, y demás equipos de menor dimensionamiento y capacidad, este resguardo permite aislarlo de un punto de tránsito continuo sin tener tiempo de espera de los camiones mineros.

El tránsito que se lleva dentro de operaciones mina es por izquierda teniendo así en todo momento los camiones mineros cuya capacidad son de 360 tn y 400 tn el más grande que son los CAT 797F y KOMATSU 980-E, estos equipos por parte seguridad tienen una visión percibible a una distancia de 200 m por delante de ellos es por eso que por temas de seguridad las camionetas y demás unidades de dimensión pequeña con referencia a estas unidades no puede generar la condición de sobre parar la unidad porque influye en el tiempo de acarreo, y podría generar un accidente.

A continuación, se muestra panorámicamente cruce del Haul Road donde se tiene el tiempo improductivo para el acarreo del material Orgánico.

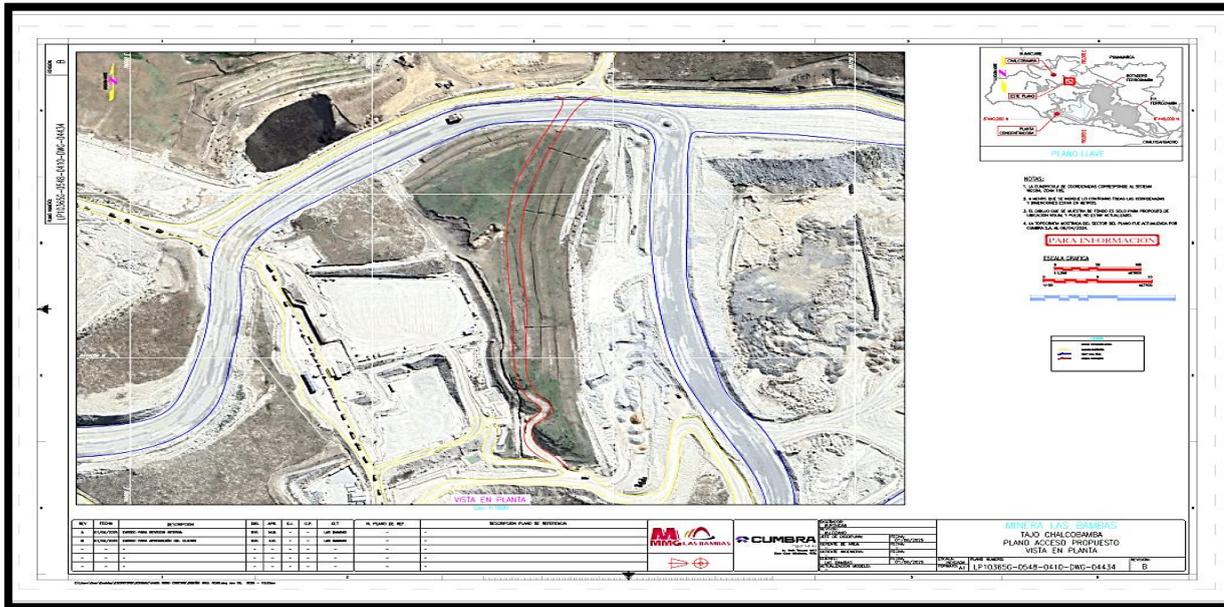
Figura 17. Equipos en espera tranquera de Haul Road



Fuente: Extraída de MMG Las Bambas

La construcción que se propone es hacer la vía alterna por el siguiente punto.

Figura 18. Ruta de construcción de la vía alterna.



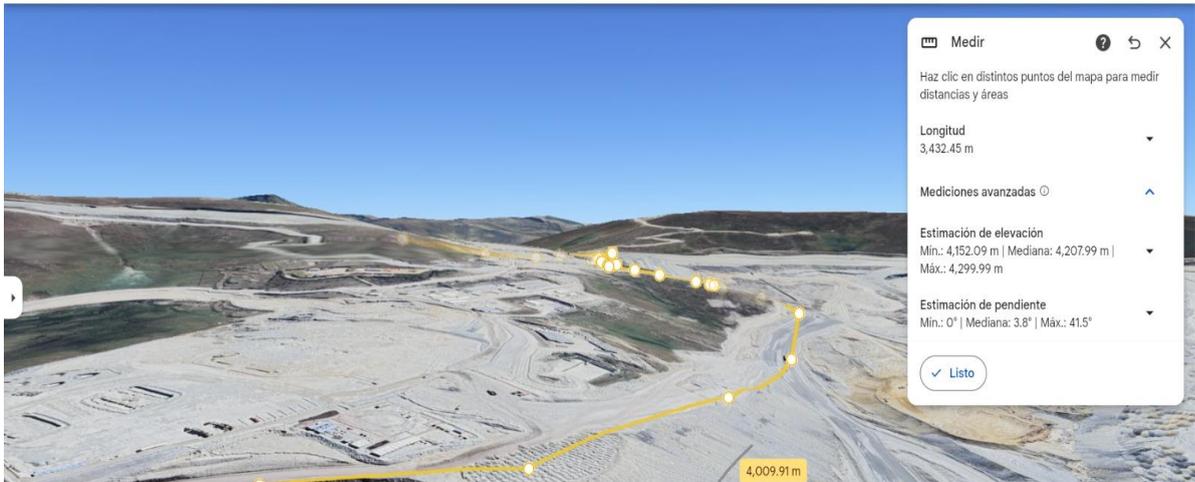
Fuente: Extraída de MMG Las Bambas.

Como se muestra las líneas de color rojo sería la nueva ruta para los volquetes que trasladan el top soil desde el botadero Chalcobamba al punto de acopio como se mostró en mapas anteriores del circuito y punto de acopio tanto del desmonte y material orgánico, esto nos permitiría una operación continua y sin tiempos de espera prolongados como el que se tiene actualmente.

Estos controles deben ser añadidos de una forma autónoma para el tránsito de los volquetes que realizan la actividad del retiro del material inadecuado, siendo exclusivo solo para los volquetes, este tiempo de espera de 35 min de tiempo de espera reduciría a 10 min como mucho porque el control también será por parte de la contratista que realiza el traslado de estos materiales, en conclusión, solo sería para todos los equipos que actualmente trabajan en Chalcobamba.

De acuerdo a las características de los vehículos, el terreno y las distancias se procedió a realizar el diseño de la ruta en 3d para esquematizar luego un modelamiento simulado para evaluar la alternativa y si mejora la movilidad de los Volquetes, en la figura 19 se puede observar una breve esquematización de la vía alterna.

Figura 19. Diseño de la ruta alterna y vista en 3d



Fuente: Elaboración Propia.

5.1.2.3 Selección de los equipos necesarios para la optimización de la construcción

Para la construcción y mantenimiento de la vía alterna en la mina de Las Bambas se seleccionaron los siguientes equipos y maquinarias para la optimización de la construcción tales como:

- Tractor (CAT D8 o mayor, 45tons, 300kW) y Wheeldócer (asistente).
- Rodillo vibrador (120HP de fuerza vibratoria).
- Motoniveladora (16ft -24ft, hoja ancha o equivalente).
- Camiones Cisterna con Capacidad de 5000 galones
- Excavadora tipo CAT 336
- Volquetes 15 m³

TRACTORES DE CADENAS

Tabla 19. Tractores seleccionados para la construcción

MARCA	MODELO	HP
CATERPILLAR	D8 T-R	310

Fuente: Empresa CAT

CAMION CISTERNA

Tabla 20. Camión cisterna seleccionado para la construcción

MARCA	MODELO	CAPACIDAD
HINO	700	5000 GL

Fuente: Empresa HINO

VOLQUETES

Tabla 21. Volquete seleccionado para la movilidad de los materiales

MARCA	MODELO	HP
VOLVO FMX	440	440

Fuente: Empresa VOLVO

RODILLO LISO VIBRATORIO

Tabla 22. Rodillo seleccionado

MARCA	MODELO	HP
CAT	CS11	124

Fuente: Empresa CAT

MOTONIVELADORAS

Tabla 23. Motoniveladoras seleccionadas

MARCA	MODELO
CATERPILLAR	CAT C7

Fuente: Empresa CAT

EXCAVADORAS

Tabla 24. Excavadoras Seleccionadas

MARCA	MODELO	HP
CATERPILLAR	CAT336D	300

Fuente: Empresa CAT

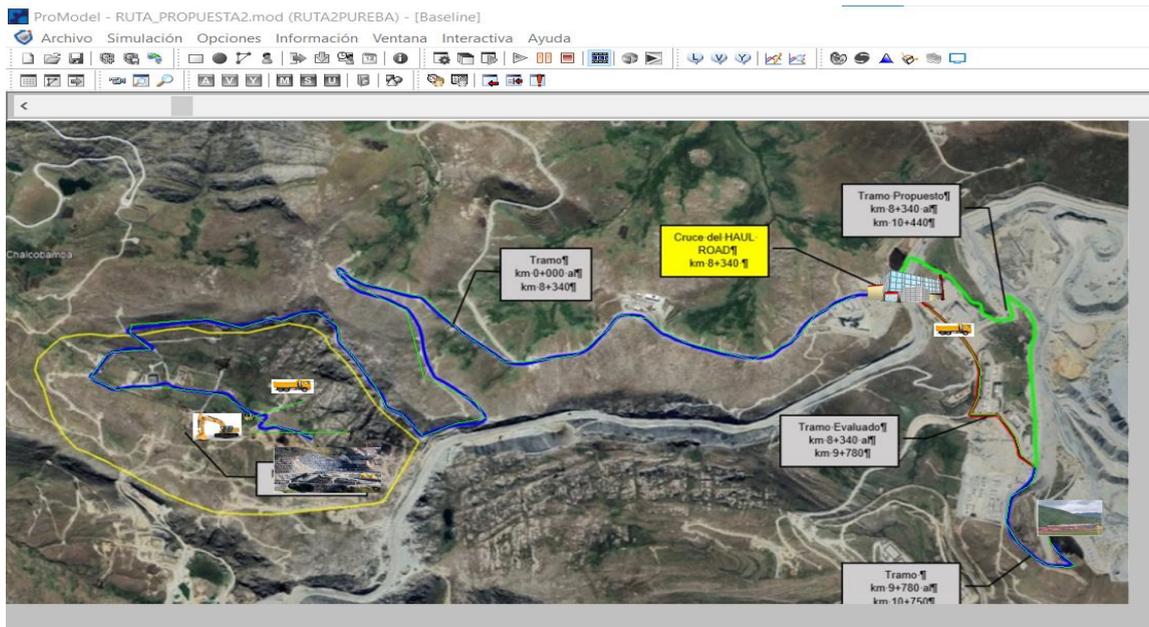
5.1.3 Productividad alcanzada con la construcción de la vía alterna

Para evaluar el cálculo de la producción alcanzada con la nueva construcción se utilizó el software ProModel, para realizar diferentes escenarios donde se mueve la ruta nueva y el traslado del material orgánico al depósito.

5.1.3.1 Primer escenario de simulación.

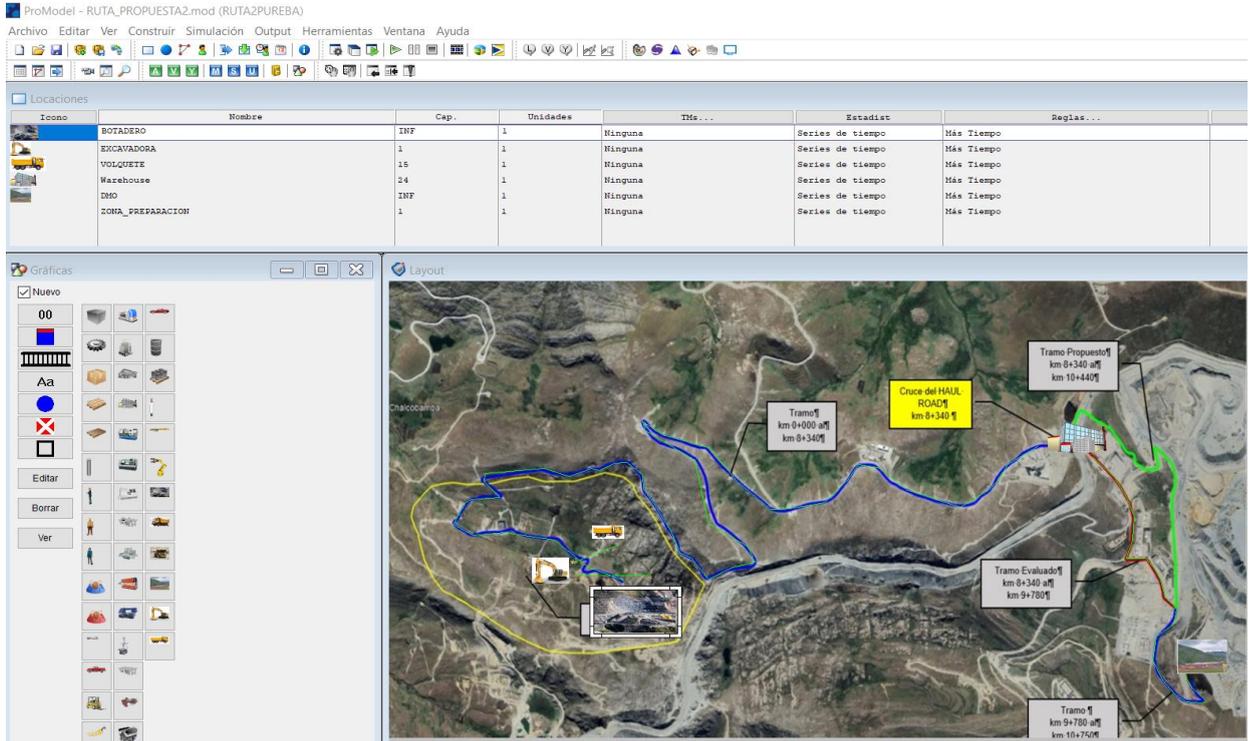
Se realizó un primer escenario donde se describe el proceso a través de 5 localidades, que se definen como botadero donde se recogerán los acarreo de materiales, cargando la flota de 25 volquetes durante al menos 6 horas por día, al llenarse un volquete con 15 m³ comenzando, la ruta hasta el punto Haul road, donde se encuentra un retaso por tráfico y espera de paso para volquetes de 35 - 45 min, para continuar hasta el Depósito de Material Orgánico donde se realizara efectivamente las descargas del material.

Figura 20. Escenario 1 de las rutas de acarreo de los Volquetes.



Fuente: Elaboración Propia

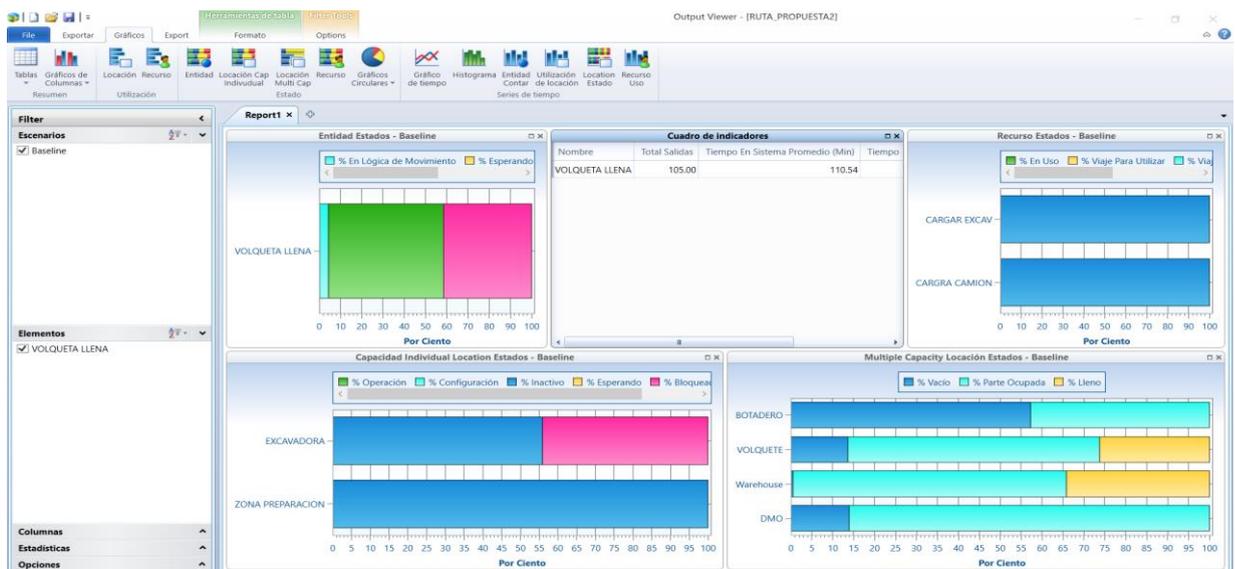
Figura 21. Simulación de las rutas en el programa ProModel.



Fuente: Elaboración Propia

Tras realizar la simulación por al menos 6 Horas de trabajo, donde se siguió las rutas pautadas y arrojando luego de la simulación para flota de 25 volquetes correspondiente los siguientes valores reflejados en la figura 22.

Figura 22. Resultados de la simulación de la ruta alterna para el acarreo de material.



Fuente: Elaboración Propia

En el escenario de la figura 30 denominado Baseline, se observa que la entidad "Volquete Lleno" presenta una distribución equitativa entre los estados de operación. Aproximadamente el 50% del tiempo se encuentra en movimiento, mientras que el otro 50% permanece en estado de espera. Esta proporción sugiere que, aunque el sistema permite una circulación constante de las volquetas, también existen periodos significativos de inactividad que podrían estar relacionados con cuellos de botella operativos o tiempos de espera en puntos críticos del proceso.

Respecto a los indicadores clave del sistema, se registran un total de 105 salidas y un tiempo promedio de permanencia en el sistema de 110.54 minutos por volqueta. Este dato es relevante para evaluar la eficiencia del ciclo operativo, ya que permite establecer una línea base sobre la cual se podrían aplicar mejoras o comparaciones con escenarios alternativos. Un tiempo promedio superior a las dos horas podría implicar oportunidades de optimización en la logística interna o en la asignación de recursos.

En cuanto al estado de los recursos, tanto el proceso de carga de la excavadora como el de carga del camión muestran una utilización cercana al 100% del tiempo disponible. Este nivel de uso indica una alta demanda sobre dichos recursos, lo cual puede interpretarse como una señal de eficiencia operativa. Sin embargo, también plantea la necesidad de evaluar la capacidad instalada, ya que la ausencia de tiempos ociosos podría dificultar la flexibilidad ante variaciones en la demanda o ante posibles fallos operativos.

Por otro lado, el análisis de las ubicaciones individuales revela que la excavadora opera aproximadamente el 60% del tiempo, mientras que el 40% restante lo dedica a la espera. Esta proporción evidencia una posible descoordinación entre la disponibilidad de volquetas y la capacidad de carga, lo que podría generar ineficiencias en el flujo de trabajo. En contraste, la zona de preparación mantiene una operación continua cercana al 100%, lo que refleja una adecuada planificación y aprovechamiento de esta área.

Finalmente, las ubicaciones múltiples como el botadero, las volquetas, el almacén (Warehouse) y el área DMO presentan una alta proporción de ocupación, especialmente en los estados "lleno" y "parte ocupada". En particular, el botadero y los volquetes muestran una saturación frecuente, lo cual podría indicar la necesidad de ampliar la capacidad de almacenamiento o mejorar la frecuencia de vaciado para evitar interrupciones en el proceso. Estos resultados permiten identificar áreas críticas dentro

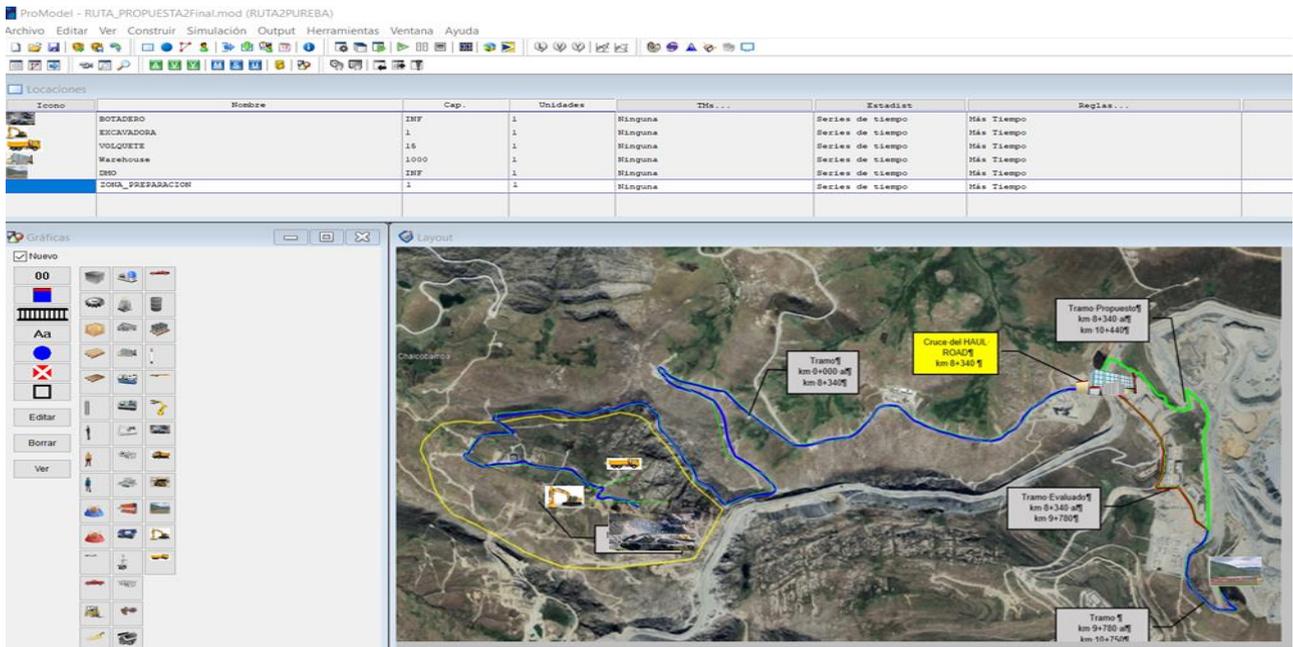
del sistema y constituyen una base sólida para el desarrollo de estrategias de mejora en la operación general.

5.1.3.2 Segundo escenario de simulación de la ruta alterna.

Para este segundo escenario se utilizó de nuevo las mismas condiciones solo que el recorrido de los volquetes seguirá la ruta propuesta evitando en su totalidad todo el tráfico por lo cual seguirá la ruta verde con acceso ilimitado y sin retraso.

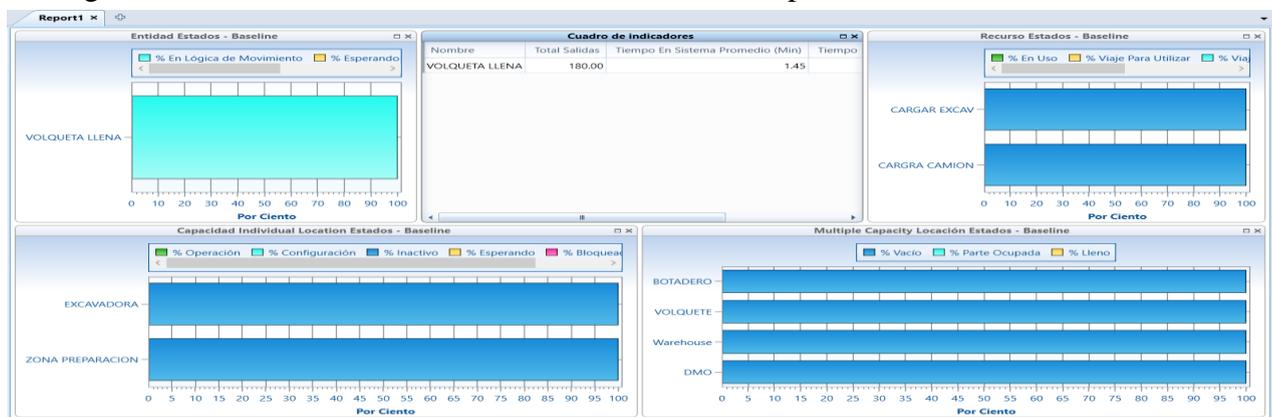
Se evalúa durante al menos 9 horas efectivas por día obteniendo los siguientes resultados reflejados en la figura 23.

Figura 23. Modelamiento del segundo escenario de la ruta alterna.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 24. Resultados de la simulación de la ruta alterna para 2do escenario.



Fuente: Elaboración Propia

En el escenario mejorado de la figura 24, se observa una transformación significativa en la eficiencia operativa del sistema, especialmente en lo que respecta al desempeño de los volquetes. Cada volquete ahora equivale a una capacidad de 15 m³, lo cual representa un incremento sustancial en comparación con el escenario anterior. Esta mejora en la capacidad de carga tiene implicaciones directas en la productividad general, ya que permite transportar un mayor volumen de material por ciclo, reduciendo la cantidad de viajes necesarios y optimizando el uso de recursos.

Los indicadores del sistema reflejan esta mejora de manera clara. El número total de salidas de volquetes asciende a 180, y el tiempo promedio de permanencia en el sistema se reduce drásticamente a 1.45 minutos. Esta disminución en el tiempo de ciclo, combinada con el aumento en la capacidad de carga, sugiere una operación mucho más eficiente, donde el flujo de trabajo se ha agilizado y los tiempos muertos han sido prácticamente eliminados.

Además, los recursos críticos como la excavadora se encuentran en uso al 100% del tiempo, lo que indica una utilización óptima sin ociosidad. Las ubicaciones individuales, como la excavadora y la zona de preparación, también operan de forma continua, lo que refuerza la idea de una coordinación efectiva entre las distintas etapas del proceso.

En cuanto a las ubicaciones de capacidad múltiple, como el botadero, los volquetes, el almacén y el área DMO, se observa que permanecen llenas el 100% del tiempo. Este comportamiento puede interpretarse como una consecuencia directa del aumento en la capacidad de carga, ya que el sistema ahora maneja volúmenes mayores en cada ciclo. Aunque esta saturación podría requerir ajustes en la capacidad de almacenamiento, también evidencia que el sistema está funcionando a su máxima capacidad, lo cual es coherente con los objetivos de mejora planteados.

En conjunto, estos resultados demuestran que la implementación de volquetes con mayor capacidad ha generado una mejora sustancial en el rendimiento del sistema. La reducción en los tiempos de operación, el aumento en la eficiencia de los recursos y la optimización del flujo de materiales constituyen evidencias claras de una evolución positiva en el diseño y ejecución del proceso simulado. Esta mejora no solo incrementa la productividad, sino que también sienta las bases para futuras estrategias de expansión o adaptación del sistema a condiciones más exigentes.

La producción que se alcanzaría con la vía alterna sería la siguiente, que es casi la estimada que se mostró con el match factor.

Tiempo efectivo = 9 hrs

Flota de volquetes = 25 unid

Tiempo de acarreo = 1 viaje / hr

Entonces la producción total por día y consecutivo sería:

Nº de viajes / día = $25 * 9$

Nº de viajes / día = 225 Viajes

Volumen / volquete = 15 m^3

Producción diaria / m^3 = $225 * 15 \text{ m}^3$

Producción diaria / m^3 = 3375 m^3

Producción mensual = $3375 * 30$

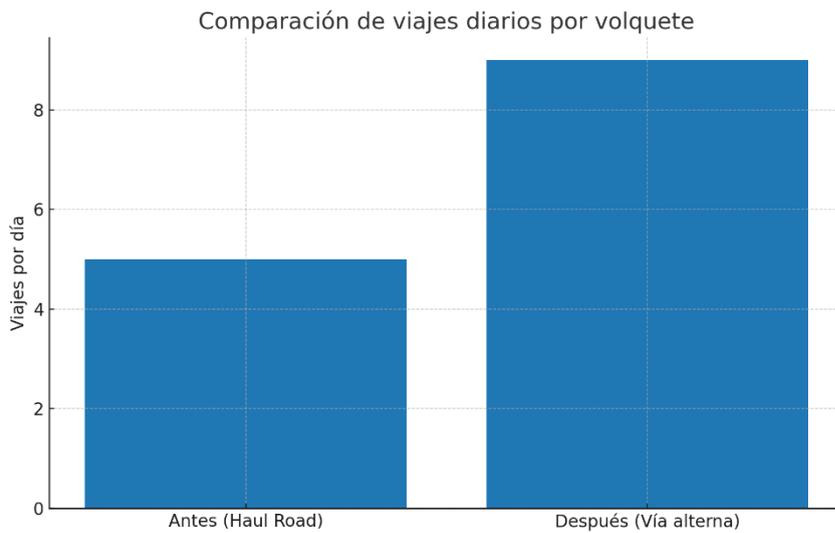
Producción mensual = $101,250 \text{ m}^3$

Producción requerida = $100,000 \text{ m}^3$

Como se verifica con lo propuesto y estimado no debería existir una diferencia abismal, también se tiene en conocimiento que el margen de tolerancia es de $\pm 1250 \text{ m}^3$.

La construcción de la vía alterna en el programa ProModel, ha generado mejoras sustanciales en los indicadores de viajes, productividad y tiempo del acarreo en el retiro de material orgánico proveniente del botadero del Tajo Chalcobamba. Los principales resultados se pueden visualizar en las gráficas líneas abajo respectivamente (figura 25, 26, 27):

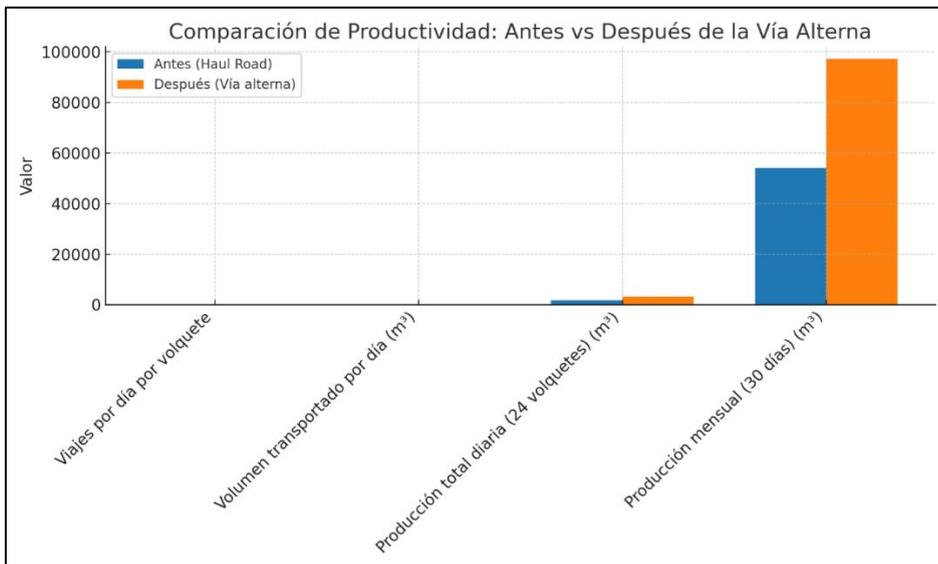
Figura 25. Comparación de viajes diarios antes y después de la vía alterna.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura anterior se puede destacar un incremento de los viajes por volquete de 5 a 9 viajes diarios, lo que es un punto a favor confirmado de la vía alterna propuesta.

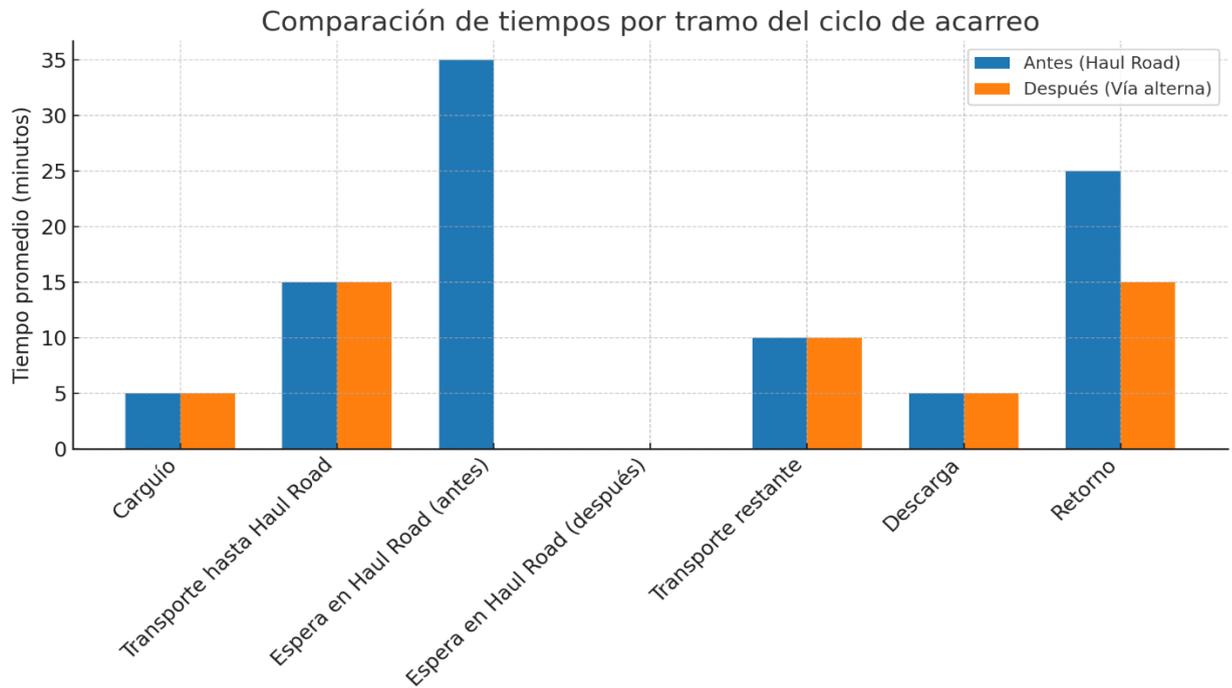
Figura 26. Comparación de la productividad, antes y después (simulada) de la vía alterna.



Fuente: Elaboración Propia

Igualmente en la figura 26 se puede analizar que se genera un aumento del volumen transportado de 75 m³ a 135 m³ por día por volquete, principalmente a nivel mensual.

Figura 27. Comparación del tiempo antes y después (simulada) de la vía alterna



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente en la figura 27 es importante resaltar la reducción del tiempo total del ciclo de acarreo de 95 a 49.5 minutos lo cual hace muy factible la construcción de esta vía alterna.

5.1.4 Costo de beneficio

5.1.4.1 Gastos generales del proyecto

Estos costos son Fijos del cual fue propuesto en su inicio considerando y teniendo los siguientes aspectos:

- Transporte de personal
- Alimentación del personal
- Habitaciones
- Salario del personal
- Otros gastos

Estos factores son acumulados y propuesto, debido a esto se tiene el siguiente monto como se indico es un costo fijo, que si se aumentara algún personal fuera de los propuesto esto inflaría este gasto.

GASTO GENERAL = \$ 187 450.00

Estos gastos es con la planilla actual que se tiene con operadores totales teniendo así con contraguardia en toda las unidades, volquetes, excavadoras, tractores y supervisión.

Esto implica que tenemos pérdidas considerables mes a mes, si bien es cierto una de las opciones debería ser incrementar la flota, pero esto implica más costos por hora máquina, más unidades, más personal, más gastos generales, entonces este pago adicional quedará sin efecto y al contrario servirá para incrementar la eficiencia de ejecución con referencia a la empresa.

Se presenta una estimación básica del análisis costo-beneficio. La inversión en la vía alterna es de aproximadamente \$250,000. El ahorro mensual proyectado por incremento en producción y reducción de penalizaciones es de \$95,000, lo cual indica un periodo de recuperación menor a 3 meses. A continuación, se presenta simplificada:

Concepto	Antes (USD)	Después (USD)
Costo por m ³ transportado	4.20	2.85
Viajes diarios promedio	5	9
Volumen diario transportado	75 m ³	135 m ³
Costo diario total	315.00	384.75
Penalizaciones mensuales	25,000	0

El costo total de la vía alterna se estima en la siguiente tabla:

Tabla 25: Costos de la vía alterna detallado y total.

ELEMENTO CONSTRUCTIVO	UNIDAD	CANTIDAD ESTIMADA	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
MOVIMIENTO DE TIERRAS (CORTE Y RELLENO)	m ³	25,000	3.00	75,000
SUBRASANTE (PREPARACIÓN Y COMPACTACIÓN)	m ²	7,000	2.14	14,980
CAPA DE AFIRMADO (MATERIAL + COLOCACIÓN)	m ³	18,000	1.95	35,100
CAPA SUPERFICIAL DEL AFIRMADO (SELLADO Y COMPACTACIÓN)	m ²	7,000	1.43	10,010
CUNETAS Y DRENAJE SUPERFICIAL	ml	2,300	5.22	12,006
SUBDRENES (DREN FRANCÉS)	ml	1,200	6.67	8,004
TOPOGRAFÍA (LEVANTAMIENTO Y REPLANTEO)	global	1	5,000	5,000
SEÑALIZACIÓN DE BERMAS DE SEGURIDAD	global	1	6,000	6,000

ELEMENTO CONSTRUCTIVO	UNIDAD	CANTIDAD ESTIMADA	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
CONTROL DE POLVO (RIEGO Y ESTABILIZACIÓN)	global	1	4,000	4,000
SUPERVISIÓN Y SEGURIDAD DURANTE CONSTRUCCIÓN	global	1	5,000	5,000
COSTOS INDIRECTOS (LOGÍSTICA, CAMPAMENTO, ETC.)	global	1	15,000	15,000
TOTAL, ESTIMADO				\$190,100

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se establece una disminución de costos operativos y eliminación de penalizaciones en la ruta y una recuperación proyectada de la inversión en menos de 3 meses.

CRONOGRAMA DETALLADO DE CONSTRUCCIÓN DE VÍA ALTERNA

Tabla 26: Cronograma para la ejecución de la construcción de la via alterna

Fase	Actividad	Sem anas	Recursos	Entregables	Indicadores Clave
1. Preparación de terreno	Retiro de material inadecuado y limpieza	1-2	2 tractores D8T, 1 Excavadora CAT 336	Área libre de vegetación	12,500 m ² despejados
	Excavación de material	3	3 volquetes Volvo fmx-440	8,200 m ³ excavados	Certificado de volumen
	Instalación de drenajes	2-3	Equipo de drenaje	15 drenes franceses	Pruebas de infiltración OK

Fase	Actividad	Sem anas	Recursos	Entregables	Indicadores Clave
2. Construcción de subrasante	Compactación	4-5	Rodillo vibratorio	Subrasante a 95% Proctor	Ensayos cada 500 m ²
	Perfilado geométrico	6-7	Motonivela dora CAT 140k	Pendientes 7.8%	Tolerancia ±2 cm
3. Capas de afirmado	Base granular (40cm)	8-9	Planta de agregados	Capa A-1-a instalada	95% passing 2"
	Carpeta de rodadura	10- 11	Regadores de agua	20 cm lastre	Resistencia DNER ME- 093
4. Habilitación operativa	Señalización vial	12	Equipo de instalación	25 señales	Reflectividad ≥250 cd/lux/m ²
	Pruebas piloto	13- 14	5 volquetes	Reporte de pruebas	Velocidad ≥35 km/h

Fuente: Elaboración propia

5.2. Discusión

5.2.1 Rendimiento de la flota de equipos de acarreo

Los resultados obtenidos en el análisis de productividad de la flota muestran que la excavadora funciona como eje central del sistema de acarreo, dado que su rendimiento condiciona directamente la operación de los volquetes, confirmando la hipótesis planteada en el objetivo específico de identificar limitaciones en la cadena de acarreo, con un rendimiento grupal calculado de 261 m³/h evidencia un nivel de eficiencia relativo, pero sugiere áreas de mejora, especialmente en la coordinación de la disponibilidad de volquetes, tal como se observa en la simulación del primer escenario, donde aproximadamente el 50 % del tiempo los equipos permanecen en espera.

La evaluación del rendimiento de la flota de acarreo evidenció que la principal limitación operativa era el tiempo improductivo generado en el cruce de la Haul Road, donde la prioridad de paso de los camiones mineros de gran tonelaje ocasionaba esperas promedio de 35 a 40 minutos por ciclo. Este cuello de botella incrementaba el tiempo total de acarreo hasta 95 minutos, reduciendo la utilización de la flota de 25 volquetes al 47 % y afectando directamente el cumplimiento del plan de producción mensual.

Comparando estos hallazgos con los antecedentes, se observa una congruencia metodológica y empírica con Acevedo Céspedes (2017), que reporta la relevancia de identificar cuellos de botella en sistemas de transporte subterráneo mediante simulación, destacando cómo la interacción dinámica entre cargadores y camiones afecta la capacidad productiva. Similarmente Valenzuela Barreto (2022), evidencia que la gestión diferenciada de tiempos fijos y variables en el acarreo permite estabilizar la productividad operacional, lo que coincide con la necesidad detectada en la presente investigación de optimizar los tiempos de espera de volquetes en la vía Haul Road.

En el contexto nacional, Salazar Chávez (2022) y Pardo Navarro (2019) muestran que la reducción de tiempos improductivos mediante la estandarización de procesos y la combinación óptima de equipos incrementa la eficiencia de la flota, reflejando mejoras del 7 al 16 % en producción diaria, hallazgos que sustentan la pertinencia de la propuesta de la vía alterna.

En consecuencia, la producción mensual se incrementó de 49050 m³ a 101 250 m³, lo que representa un aumento del 128 %. Asimismo, la utilización de la flota alcanzó el 95 %, superando el estándar de referencia del sector minero (85 %). Estos resultados son

consistentes con estudios como el de Salazar Chávez (2022), donde la reducción de interferencias viales incrementó la productividad en más del 50 %, y con lo reportado por Soto y Almeida (2025), quienes demostraron que vías segregadas optimizan el flujo vehicular y reducen tiempos de ciclo.

5.2.2 Diseño y construcción de la vía alterna

El diseño de la vía alterna en el Cruce del Haul Road representa una solución técnica que responde directamente al objetivo de optimizar el transporte del material orgánico y reducir los tiempos de espera y la simulación con ProModel mostró que la implementación de la ruta propuesta redujo significativamente el tiempo promedio de permanencia de los volquetes, incrementando la cantidad de viajes diarios de 5 a 9 por unidad y elevando la producción de 75 m³ a 135 m³ diarios por volquete, por lo que esta mejora refleja un incremento en la eficiencia del ciclo operativo y una reducción de cuellos de botella, validando la hipótesis de que la segregación del tránsito de vehículos pesados y livianos impacta positivamente en la productividad.

También Bermúdez García y Serrano Alvear (2023) evidencian que un diseño vial eficiente, con planificación geométrica y estructural, reduce tiempos de desplazamiento y riesgos operativos, reforzando la necesidad de aplicar criterios técnicos y de seguridad en proyectos de infraestructura vial minera, al igual que Soto y Almeida (2025) muestran cómo la identificación y eliminación de cuellos de botella mediante herramientas de gestión vial aumenta la productividad y reduce pérdidas operativas, lo que coincide con la reducción de tiempos improductivos observada en la presente investigación tras la construcción de la vía alterna, no sin dejar de hacer notar que Ruiz y Sandoval (2022), enfatizan que la mejora de las condiciones de la vía, ya sea mediante mantenimiento o construcción alterna, es determinante para optimizar la eficiencia de la flota y los costos asociados, reforzando la pertinencia de la propuesta aplicada en Las Bambas.

5.2.3 Costos, beneficios y productividad

Desde la perspectiva económica, los resultados evidencian que la construcción de la vía alterna redujo el tiempo improductivo de la flota de volquetes, disminuyendo el costo unitario de acarreo en un 28 %, lo que representa un ahorro anual estimado en USD 712 000.

El análisis costo–beneficio aplicado se sustenta en la siguiente fórmula:

Donde:

$$\text{Relación Costo – Beneficio (RCB)} = \frac{\text{Beneficio Neto Anual}}{\text{Inversión Inicial}}$$

- Beneficio Neto Anual (B) = Ahorros anuales por reducción de costos + Eliminación de penalizaciones.
- Inversión Inicial (I) = Costo total de construcción de la vía alterna.

En este caso:

$$B = 712000 \text{ (Ahorros por Eficiencia)} + 328000 \text{ (Penalizaciones Evitadas)} = 1040000 \text{ USD}$$

$$I = 325000 \text{ USD}$$

$$RCB = \frac{1040000}{325000} = 3,2 \text{ USD}$$

Esto significa que por cada dólar invertido en la vía alterna se recuperan 3,2 dólares en beneficios netos, con un periodo de recuperación inferior a tres meses, ya que los ahorros mensuales superan los USD 90 000.

Adicionalmente, el costo unitario por metro cúbico transportado se redujo de USD 4,20 a USD 2,85, reforzando el impacto positivo en eficiencia y sostenibilidad económica.

Estos resultados son consistentes con lo planteado por Quiroz (2019) y Müller (2023), quienes demostraron que mejoras en la infraestructura vial minera permiten recuperar la inversión en menos de un año. Del mismo modo, coinciden con lo señalado por Salazar Chávez (2022) y Valenzuela Barreto (2022), respecto a que la planificación y el control operacional son claves para estabilizar la productividad y reducir costos unitarios de acarreo.

Finalmente, la adecuada selección de equipos de construcción (tractores, motoniveladoras y rodillos) garantizó eficiencia en la ejecución, en línea con Bermúdez García y Serrano Alvear (2023), quienes resaltan que la integración de criterios técnicos y económicos en proyectos viales maximiza los resultados. De este modo, la vía alterna no solo resuelve un cuello de botella operativo, sino que constituye un ejemplo replicable de planificación estratégica para la minería a cielo abierto.

CONCLUSIONES

- 1) La propuesta de construir una vía alterna resultó clave para mejorar la productividad en el retiro de material orgánico y desmonte en la habilitación del botadero del Tajo Chalcobamba. Con esta medida, la producción mensual se duplicó, pasando de 49,050 m³ a 101,250 m³, lo que garantiza cumplir con los plazos del proyecto de habilitación del botadero. La mejora se logró principalmente al eliminar el cuello de botella en el Haul Road, reduciendo los tiempos de ciclo de 95 a 49 minutos. La validación realizada con ProModel confirmó que la solución no solo aumentó la productividad, sino que también redujo los costos operativos en un 28%.
- 2) Con la implementación de la vía alterna, el rendimiento de la flota de volquetes pasó de una utilización del 47% a un 95%, superando el promedio de la industria minera. El seguimiento de 472 ciclos demostró que la mejora en las condiciones de la vía estuvo directamente relacionada con el aumento de viajes diarios. En términos económicos, se eliminaron las penalizaciones por inactividad, lo que representó un ahorro anual de USD 712,000. Estos resultados confirman que la calidad de la infraestructura vial es un factor clave para maximizar la productividad en las operaciones de acarreo.
- 3) La investigación planteó una vía alterna para el acarreo en el botadero del Tajo Chalcobamba, la cual incrementará la producción en un 43.5% de 1635m³/día a 3375m³/día. Este resultado se debe a la reducción de los tiempos de ciclo y a la posibilidad de realizar más viajes diarios con los volquetes, según lo evidenciado en la simulación con ProModel. Además, la evaluación de la flota mostró mejoras directas en el acarreo y en el transporte del material orgánico.
- 4) El estudio de costos de la flota de volquetes determinó que cada hora de operación tiene un valor de USD 96.4. Hasta ahora, con un total mensual de 3,463.6 horas, no se lograba cumplir el mínimo de 170 horas por volquete. Con la implementación de la vía alterna, este tiempo se incrementará a 4,250 horas al mes, lo que permitirá aprovechar mejor la flota, disminuir los costos por unidad y mejorar la eficiencia de las operaciones.

RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo una evaluación ambiental y geotécnica más detallada, junto con un análisis costo–beneficio completo. Esto permitirá justificar la inversión tanto desde el punto de vista técnico como económico, asegurando que el proyecto sea viable en su operación y sostenible en términos ambientales a corto, mediano y largo plazo.

Se propone construir una vía alterna a la ruta actual, con el objetivo de disminuir los tiempos muertos y hacer más ágil el transporte. Con esta medida se podrá incrementar de forma notable la producción diaria de material, mejorando al mismo tiempo la eficiencia general de la operación minera.

Se sugiere enfrentar de forma directa las demoras en los ciclos de acarreo, aplicando alternativas tanto técnicas como de gestión. Con ello se podrán evitar retrasos en la operación, garantizar el cumplimiento de la producción prevista y disminuir los costos generados por ineficiencias.

Se debería incluir el análisis costo–beneficio desde la etapa de ejecución de los proyectos, con el propósito de evitar gastos innecesarios y aprovechar mejor los recursos disponibles. Esta práctica permitirá cumplir con los plazos previstos y asegurar una gestión más eficiente y sostenible de las operaciones mineras.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). (2012). Manual de diseño geométrico de carreteras. <https://www.jica.go.jp>
- ✓ Aguilar, W. (2013). Análisis de tiempos en el acarreo del desmonte en una mina de tajo abierto [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].
- ✓ Chacón, L. (2015). Evaluación del sistema de acarreo de desmonte en la mina Pierina [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe>
- ✓ Cuenca, J. (2021). Propuesta de mejora de productividad en el acarreo de desmonte mediante la implementación de una vía alterna [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
- ✓ Duarte, R. (2014). Optimización del sistema de acarreo mediante mejora de rutas [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- ✓ Hernández, R. (2014). Metodología de la investigación (Vol. 6a edición). México D.F., México: McGraw Hill.
- ✓ INEI. (2020). Compendio estadístico del Perú 2020. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://www.inei.gob.pe>
- ✓ Klein, B., & Sandanayake, D. (2018). Open pit haul road design: A review of current practice. In Proceedings of the 2018 SME Annual Conference. Society for Mining, Metallurgy & Exploration.

- ✓ Li, Y., Zhang, X., Liu, H., & Wang, L. (2025). Prediction of mining cycle times using stacked machine learning models. Central South University. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42461-025-01293-2>

- ✓ Marinovich Azabache, F. A. (2016). Influencia del mantenimiento de vías sobre la productividad del proceso de acarreo en el minado del tajo Pampa Verde, Minera La Zanja – Cajamarca [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Alicia – CONCYTEC. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNIT_4b39eaa3f0111ea828244fe62e1bf1a

- ✓ Ministerio de Energía y Minas (MINEM). (2023). Anuario Minero del Perú 2022. <https://www.minem.gob.pe>

- ✓ Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2014). Manual de carreteras: Diseño geométrico. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. <https://www.mtc.gob.pe>

- ✓ MTC & Provías Descentralizado. (2013). Manual técnico de construcción de caminos no pavimentados. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Müller, T. (2023). Simulación de eventos discretos para evaluar la productividad del acarreo en condiciones de vía degradada [Tesis de maestría, Luleå University of Technology]. <https://www.mdpi.com/2673-6489/3/1/6>

- ✓ Müller, T. (2023). Simulación de eventos discretos para evaluar la productividad del acarreo en condiciones de vía degradada. Luleå University of Technology. <https://www.mdpi.com/2673-6489/3/1/6>

- ✓ Pérez, C. (2018). Análisis de eficiencia del acarreo en una mina de tajo abierto utilizando simulación discreta [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo].

- ✓ Quiroz, A. (2019). Optimización de circuitos de acarreo en base a análisis de tiempos muertos [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].

- ✓ Rodríguez, M. (2025). Clasificación de rugosidad en vías mineras usando UAV y su impacto en el consumo energético [Tesis de maestría, Universidad Técnica Federico Santa María]. <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/11/6309>

- ✓ Salazar, E. (2022). Evaluación de la implementación de una vía alterna para mejorar el acarreo en el proyecto Las Bambas [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].

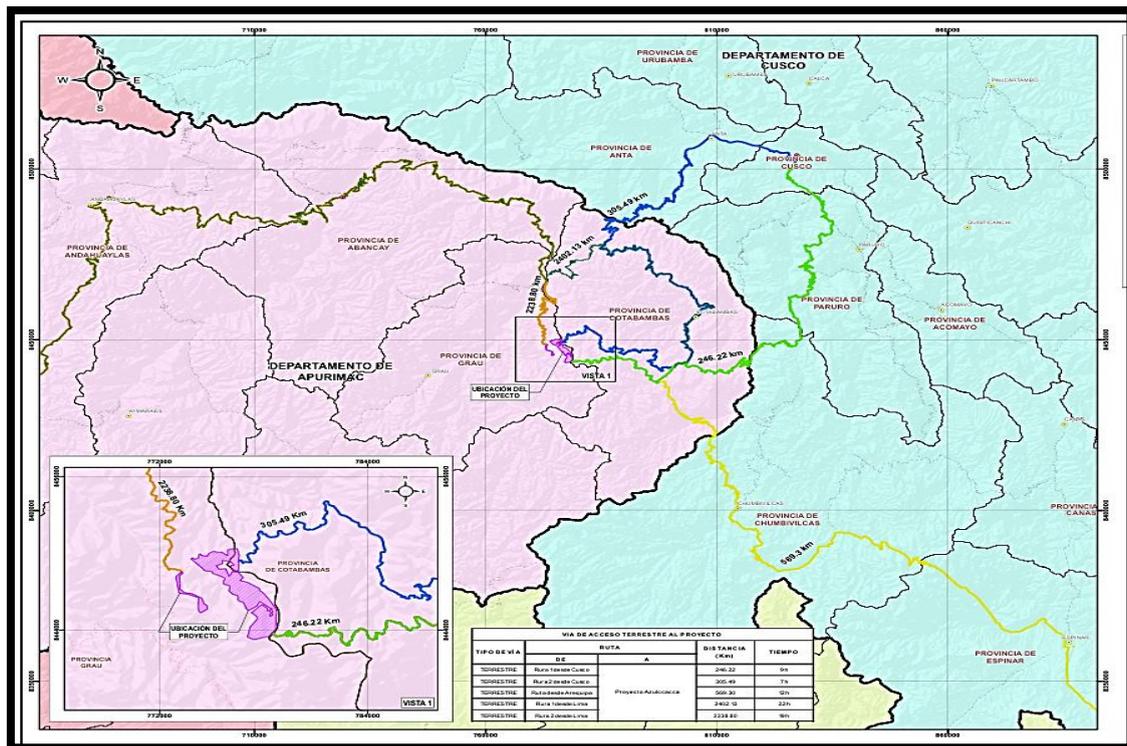
- ✓ Soto, D., & Almeida, F. (2025). Gestión eficiente de vías mineras: Caso práctico en una mina de oro en Sudamérica. Universidad Federal de Ouro Preto. <https://www.africanmining.co.za/2025/07/08/effective-haul-road-management-a-south-american-gold-mine-case-study>

GENERALIDADES

Descripción de la unidad minera las bambas.

Ubicación

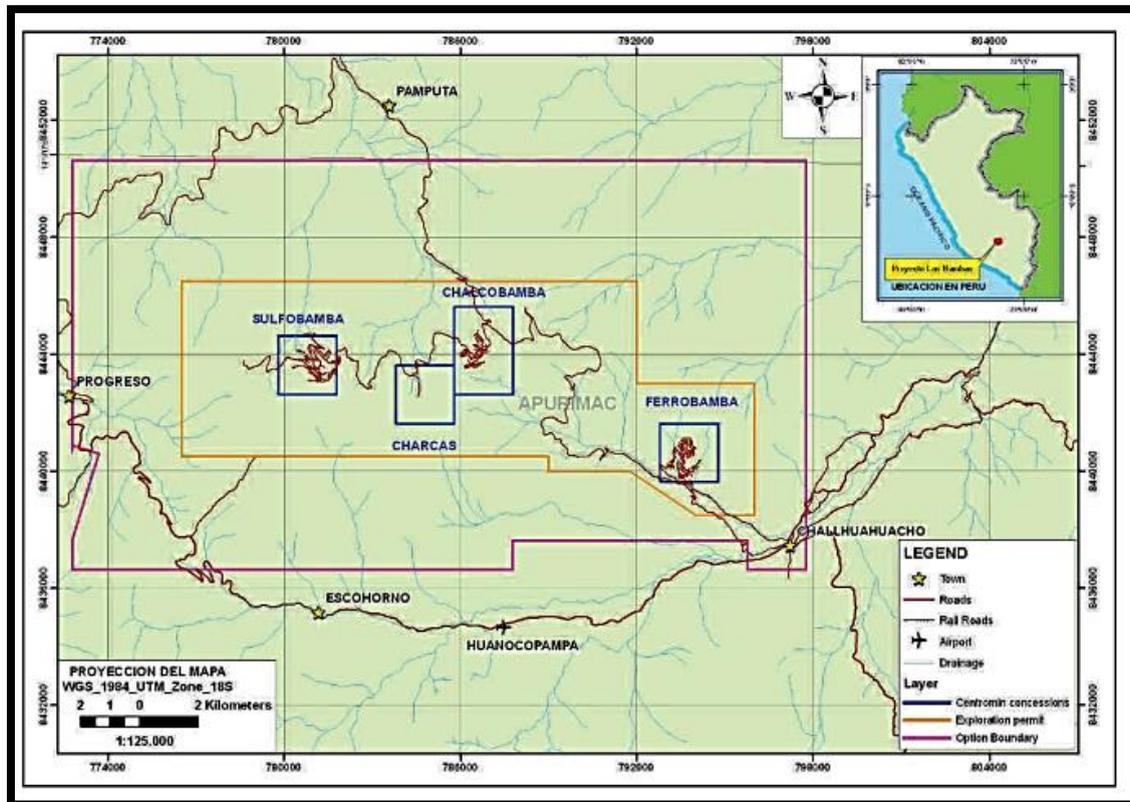
Minera Las Bambas S.A. (en adelante denominada “Las Bambas”) es titular de la Unidad Minera Las Bambas. Este proyecto se ubica en el departamento de Apurímac, en los andes de la zona centro-sur de Perú – aproximadamente a 75 km al suroeste de la ciudad de Cusco, entre las provincias de Cotabambas y Grau (región Apurímac) – entre las cuencas de los ríos Vilcabamba y Santo Tomás, específicamente en la cuenca del río Ferrobamba, a una altitud que varía entre los 3,800 y 4,600 msnm. La temperatura anual promedio es de aproximadamente 8 °C, la humedad es de 63% y la precipitación es de 1,219 mm.



El depósito Ferrobamba, ubicado en el proyecto minero Las Bambas, se encuentra en la comunidad de Fuerabamba, distrito de Chalhuanhuacho, provincia de Cotabambas,

departamento de Apurímac, en la parte SE de la concesión minera actualmente explorada por MMG LAS BAMBAS.

Es un depósito de tipo pórfido-skarn de Cu-Mo-(Ag-Au); se encuentra en la franja de yacimientos de tipo pórfido y skarn del SE del Perú, asociada al Batolito Andahuaylas-Yauri del Eoceno-Oligoceno (Perello et al, 2003) emplazado en rocas sedimentarias del Mesozoico, siendo la más importante la Formación Ferrobamba (Cretáceo inferior-superior)



Geología de Chalcobamba

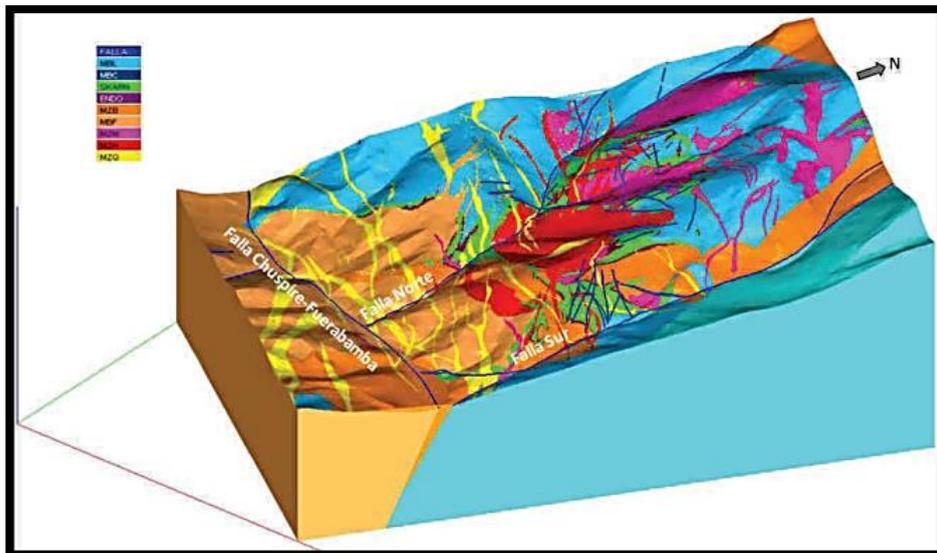
En la presente sección se describe la geología regional y local, en base a la caracterización de las unidades estratigráficas y principales rasgos estructurales.

Las rocas sedimentarias que afloran en el área corresponden a la Formación Ferrobamba, constituida por: calizas grises a negras con nódulos de chert, calizas fosilíferas, calizas laminadas, calizas arenosas e intercalaciones de horizontes limolíticos. Esta formación aparece fuertemente plegada. Su potencia medida es mayor a 800 m (Jeanne, 2005). Las rocas intrusivas aflorantes son de composición calcoalcalina (Parr, 2005). Los pórfidos

monzoníticos son producto de la diferenciación de una serie de pulsaciones magmáticas en un corto periodo de tiempo (entre 41 y 35 Ma: Método K-Ar (Parr, 2006)). Se han reconocido hasta cinco eventos denominados: Monzonita Biotítica (MZB), Monzonita Biotítica Fina (MBF), Monzonita Máfica (MZM), Monzonita Hornbléndica (MZH) y Monzonita Cuarzosa (MZQ). Los tres primeros están asociados a la mineralización.

Estructuralmente, el distrito minero Las Bambas se ubica en la estructura llamada Deflexión de Abancay que se caracteriza por un cambio en la dirección de los Andes peruanos pasando de NO-SE a E-O como consecuencia de la orogenia Andina (Lipa, 2007). Localmente en Ferrobamba se tiene la falla ChuspriFuerabamba, de dirección ONO-ESE que atraviesa la parte S del depósito, y que desde la Fase Inca se manifiesta como una falla inversa de bajo ángulo que ha favorecido la formación de una zona de apertura durante el emplazamiento de las monzonitas y la mineralización (Brookes, 2006). También existen fallas posteriores de orientación NNE (fallas strike slip, inversas, de alto ángulo) y que han sido denominadas Norte y Sur.

La alteración hidrotermal, desde la parte externa hacia el centro del sistema, presenta la siguiente zonación: Mármol con wollastonita, mármol con granates-piroxenos y exoskarn de granates y piroxenos (+magnetita), dentro de las calizas de la Formación Ferrobamba. En los intrusivos se ha reconocido endoskarn (de plagioclasas, piroxeno y granate) adyacente al exoskarn y alteración potásica (biotita secundaria-feldespatos potásicos magnetita-cuarzo), relacionadas con la mineralización; hacia los bordes se aprecia alteración propilítica (clorita-epídota-calcita-pirita).

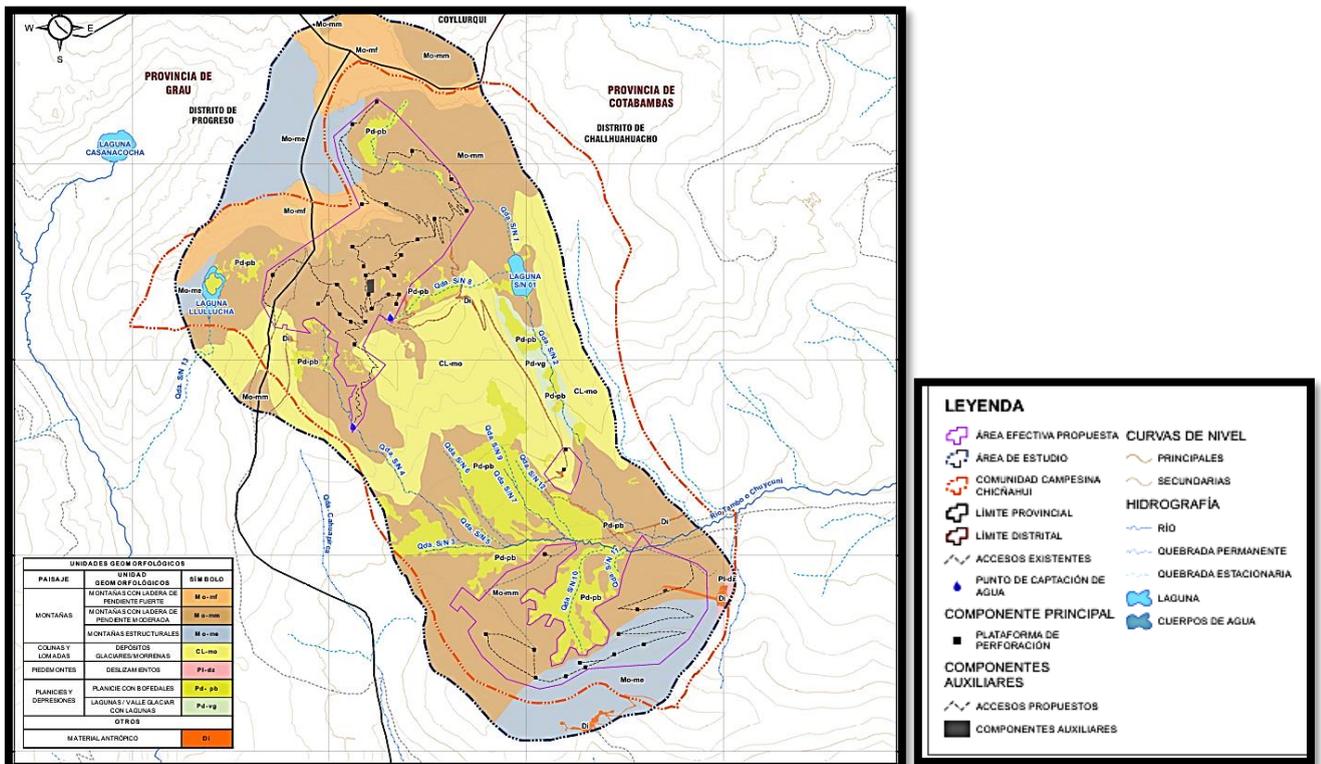


Geología regional de Chalcobamba

La estratigrafía del área del estudio está basada principalmente en la descripción geológica generada por LAS BAMBAS para este proyecto; asimismo, en las publicaciones del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET): Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomás. Hojas: 29-p, 29-q, y 29-r - [Boletín A 35], Estudio Geológico de la Región Apurímac³ y Memoria Descriptiva de la Revisión y Actualización del Cuadrángulo de Santo Tomás (29-r). Escala 1:100,0004, Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomás.

El área de estudio está ubicado aproximadamente a 10 km al oeste de Challhuahuacho, en cuenca del río Tambo. Según el mapeo de LAS BAMBAS, el sector norte del área de estudio está emplazado en calizas de la formación Ferrobamba en contacto con rocas intrusivas dioritas a tonalitas del batolito de Andahuaylas - Yauri; al sur está principalmente situado en cuarcitas de la formación Soraya de permeabilidad baja a moderada. Las partes bajas del valle del río Tambo tienen espesores significativos de cubierta cuaternaria que consisten en material de morrena glacial con material aluvial delgado a lo largo de la base de las quebradas.

Regionalmente el área de estudio se encuentra dentro de la Deflexión de Abancay, en donde las estructuras de deformación andina, como pliegues y fallas, tienen en general



una orientación E-W, a diferencia de las áreas adyacentes que siguen la dirección andina NW-SE. En esta área, se distinguen zonas con rocas graníticas del Batolito Andahuaylas-Yauri que sigue una orientación E-W, con fracturamiento moderado y cuyas direcciones predominantes son E-W y NW-SE, además se presentan algunas estructuras con dirección N-S y otras con dirección NE-SW. Los macizos graníticos se encuentran mayormente en las partes altas, conformando las divisorias de aguas. Para la diferenciación de esta unidad geomorfológica se considera la elevación en relación al nivel de base local, así como rasgos importantes como la pendiente de sus laderas, el carácter estructural asociado al relieve, y la presencia o ausencia de material de cobertura. Se encuentra distribuido en toda del área de estudio, tanto en el norte, centro y sur de la superficie.

Geología regional

La zona de trabajo se localiza en la franja de yacimientos de skarn de Cu (Mo-Au), asociados a sistemas tipo pórfidos, ubicados en la parte sureste del Perú, estando controlada por el emplazamiento del batolito Andahuaylas-Yauri del Eoceno-Oligoceno, y que ha cortado a rocas sedimentarias del Mesozoico, las rocas intrusivas del batolito en contacto con las calizas Ferrobamba, llegaron a generar un metamorfismo de contacto formando en algunos sectores cuerpos de skarn con mineralización de Cu (Mo-Au), este batolito se ha emplazado al sur de la “Deflexión de Abancay”, configurando lineamientos cuya dirección preferencial es de NO-SE, NE-SO.

Estratigrafía

Las rocas más antiguas que se exponen en la zona son las correspondientes al Grupo Yura, teniendo hacia la base a la formación Chuquibambilla del Jurásico Superior, en el Cretáceo se depositan los sedimentos de la formación Soraya, Mara y Ferrobamba, en el Terciario Superior- Pleistoceno la actividad volcánica genera una serie de volcánicos conformando el Grupo Barroso, con sus miembros Volcánico Malmanya y Volcánico Vilcarani, los depósitos cuaternarios están cubriendo en parte a las rocas preexistentes. En el Terciario Inferior hubo una gran intrusión del 18 Batolito de la Costa, exponiendo las rocas dioríticas, granodioríticas y tonalíticas, que intruyeron a rocas más antiguas.

Grupo Yura

Formación Chuquibambilla

Su nombre proviene del lugar típico donde fue descrito sus afloramientos en el pueblo de Chuquibambilla, su localización es sencilla en el campo, sus contactos son fáciles de determinar por el cambio litológico y su coloración, se encuentra suprayaciendo a la formación Piste en concordancia, e infrayaciendo a la formación Mara también en concordancia.

La litología consiste de una secuencia de areniscas de grano fino a grueso, de tonalidades gris oscuras, intercalado con lutitas, y con niveles delgados calcáreos compuestos de calizas gris claras a negras, en sectores se torna más arenosa, generalmente se presentan en forma lenticular cuyo grosor no excede los 50 m, generalmente se encuentran afectados por el tectonismo presentando pliegues o a veces ondulaciones extensas, las areniscas predominan en esta formación conformando un porcentaje promedio 60-70%, el 30% restante lo componen las lutitas y calizas.

La potencia de esta formación es de aproximadamente 800 m, en el cerro de Ninacasa, al norte de Chisi, sin embargo, en el valle de Chuquibambilla su potencia es de 500 m en promedio, mientras que en la margen derecha del valle de Chalhuanca su grosor es mayor a 600 m, el río Cocha presenta un grosor de 700m.

De acuerdo a sus características litológicas y a su posición estratigráfica, se le asigna una edad Jurásico Superior- Cretáceo Inferior.

Formación Soraya

Sus afloramientos más conspicuos se localizan en el pueblo del mismo nombre, en el cañón del río Chalhuanca, donde se encuentra suprayaciendo en concordancia sobre la Formación Chuquibambilla, e infrayaciendo a la formación Mara en concordancia, con algunas 19 variantes como en la margen izquierda del río Antabamba que presenta una discordancia erosional.

Su litología consiste de una secuencia de cuarcitas intercaladas con areniscas cuarcíticas de grano fino a medio, existiendo niveles de areniscas de grano grueso de cuarzo. Estas areniscas se intercalan con niveles delgados de lutitas de color negras y formando capas delgadas de hasta 10cm. de espesor, debido al intemperismo presentan unas tonalidades

claras, también se exponen areniscas de colores grises, se exponen asimismo delgados niveles con presencia de troncos y restos de plantas silicificadas, estos restos se encuentran mal conservados.

De acuerdo a su posición estratigráfica, se le infiere una edad correspondiente al Neocomiano inferior.

Formación Mara

Esta formación fue estudiada por W. Jenks (1951), determinando afloramientos de tonos rojizos en la localidad del mismo nombre, presenta afloramientos bien expuestos en los poblados de Cocha y Jarque localizados el NW de Colquemarca, y se expone hasta el cerro Capayoc, en la parte intermedia del río Santo Tomás.

La litología está compuesta hacia la base de areniscas esencialmente, en la parte media se expone areniscas lutáceas, lutitas de tonalidades rojizas, con niveles intercalados de areniscas, conglomerados, los clastos son de cuarcita dentro de una matriz arcillolutácea, hacia la parte superior presenta areniscas intercaladas con lutitas abigarradas y hacia el tope presenta calizas de tonalidades amarillentas, en general el color predominante de esta formación es rojizo a marrón rojizo.

De acuerdo a su posición estratigráfica considerando las relaciones estratigráficas suprayacentes e infrayacentes, se le asigna una edad Aptiana.

Formación Chalcobamba

Esta formación fue estudiada por W. Jenks (1951), denominando así a una secuencia de calizas, se encuentra yaciendo en concordancia 20 sobre la formación Mara, esporádicamente sobre las cuarcitas de la formación Soraya, y están infrayaciendo en discordancia paralela a rocas de la formación Anta y a los conglomerados del Grupo Puno con discordancia angular.

Su litología esencialmente consta de una secuencia de calizas de color negruzcas a gris oscuras, en sectores se aprecia niveles delgados de calizas amarillentas, se exponen masivas, compactas, de estratificación definida y clara, son detríticas y con granos de cuarzo redondeados, intercalados con delgados niveles de lutitas negras o grises, se expone asimismo fragmentos de fósiles, restos orgánicos silicificados, a veces se alternan

con niveles delgados de dolomitas constituyendo zonas deprimidas por haber sido afectadas intensamente por la alteración meteórica.

Grupo Barroso

Se caracteriza por estar conformado por rocas volcánicas tipo derrames y piroclásticos de naturaleza andesítica, traquítica y traquiandesítica (Mendivil S. et al., 1965), se caracteriza por estar encima del Volcánico Sencca así como del Grupo Tacaza en discordancia erosional, excepcionalmente se presenta cubriendo a las formaciones Ferrobamba y Grupo Yura en discordancia angular, se encuentra cubierto en parte por los depósitos morrénicos y fluvio-glaciares del Pleistoceno, así como por productos volcánicos más recientes y depósitos cuaternarios.

De acuerdo a su posición estratigráfica se le infiere una edad Plioceno Superior-Pleistoceno. Se divide en dos miembros: Volcánico Malmanya y Volcánico Vilcarani.

Volcánico Malmanya

Pertenece al nivel inferior del Grupo Barroso, Su mejor exposición se encuentra en el nevado Malmanya, que se localiza a 15 km al sur del distrito de Progreso, (Pecho V. (1981). Su litología consiste de derrames lávicos andesíticos, traquiandesíticos y riódacíticos.

Se exponen en capas horizontales de 1 a 5 m de grosor cada capa, presentando una buena pseudoestratificación, son de origen fisural, en superficie fresca presenta tonalidades gris oscuras, rojizas, moradas, a gris verdosas, y en superficie intemperizada presentan tonalidades claras a rojizo y gris morado, su textura es porfirítica, con matriz fluidal y microlítica, presenta fenocristales muy pequeños quebradizos, los minerales principales son de plagioclasas tipo oligoclasas, cuarzo, el grosor aproximado es de 1,000 m, en el afloramiento típico.

Volcánico Vilcarani

Se encuentra en la parte superior del grupo Barroso, se expone en las pampas de Vilcarani de donde proviene su nombre, localizado a 41 km al oeste del poblado de Santo Tomás, se encuentra en discordancia erosional encima del Volcánico Malmanya, la compactación de sus elementos constitutivos son variables, desde muy duros y compactos, hasta deleznable y poco consolidados.

Su litología consiste de una secuencia de piroclásticos y derrames, los primeros están compuestos de tufos, brechas, aglomerados, cenizas, de composición andesítica, riódacítica y riolítica, de tonalidades que van desde el blanco hasta el rojizo. El tope de este volcánico es de constitución piroclástica, con excepción de los cerros Ultiaciano y Quello-Quello donde presentan derrames lávicos hacia la parte superior.

Mineralización

El pit Ferrobamba presenta una ley promedio de Cu de 0.6%, mientras que los skarn presentan una ley promedio de 1.7%, el endoskarn 0.7% y la brecha de contacto 1.0%, el valor estadístico del Au es de 0.06 g/t y la Ag del orden 3.3 g/t., y la ley promedio de Mo es de 139-ppm y se encuentran alojadas en el skarn y endoskarn.

El Skarn contiene la facies del Skarn de Magnetita, que es pequeña en número de ocurrencias, pero es alta en ley. El oro está asociado al skarn y endoskarn, sin embargo, es menor relacionado con los pórfidos, sus medias están cerca de 0.20 ppm.

La plata en el skarn tiende a ser más mineralizado, alcanzando a 10 g/t, sin embargo, los pórfidos contienen entre 1.0 y 1.2 g/t, la disposición de plata es relativamente más dispersa en relación al cobre y molibdeno. El molibdeno se encuentra en el skarn con leyes elevadas que pasan de los 250 ppm, el endoskarn presenta leyes de 177 ppm, mientras que el pórfido tiene valores de 135 ppm de molibdeno, siendo la dispersión de Molibdeno superior a la del cobre. El principal mineral de cobre es la bornita, La calcosita se presenta como bordes sobre bornita y calcopirita.

A. Charland, K. Chisholm (2007), con la intención de conocer la mineralogía modal y la variabilidad textural para los minerales de cobre, así como el tamaño de grano y la conducta del cobre en c/u de los EndMembers, han definido cuatro End-Members: Skarn con sulfuros, Skarn con óxidos, Pórfido con sulfuros y Pórfido con óxidos. La bornita presenta grano grueso, variando su tamaño entre 100 y 200 micras en los End Members no oxidados.

La presencia de calcosita es cambiante dentro de los End Members, con tamaños de grano entre 15 y 40 micras, presentando una textura como de cobertura sobre los bordes de otros sulfuros de cobre. Alrededor del 10% son de horizontes mixtos, donde los sulfuros de

cobre fueron remplazados por minerales de cobre que contienen óxidos, carbonatos y silicatos hidratados de Cu.

Diseño de los caminos mineros

Las secciones típicas de corte y relleno del acceso minero a los destinos principales se presentan en la siguiente figura.

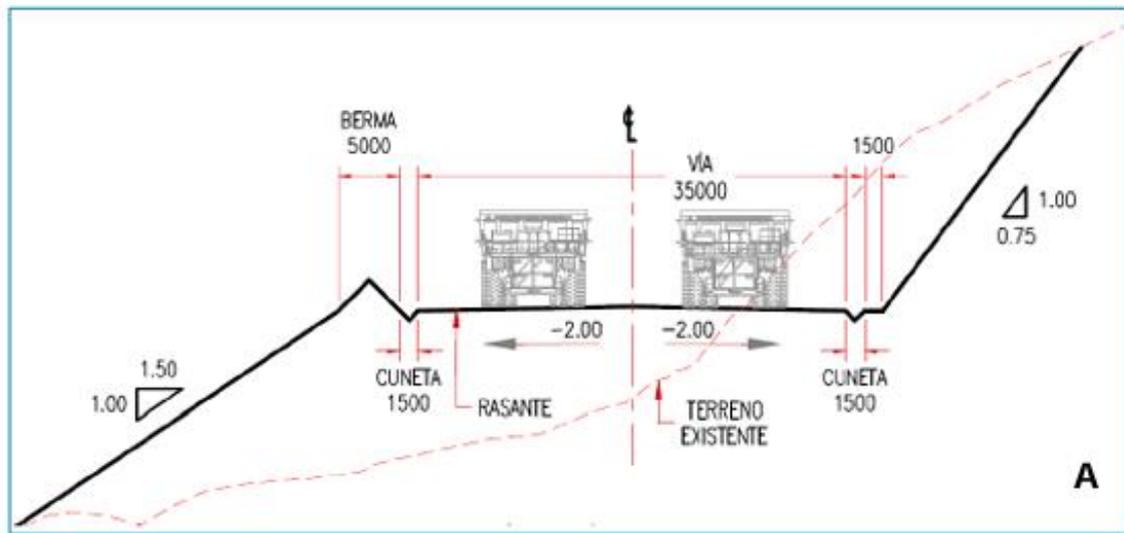


Figura 37: Fuente MMG LAS BAMBAS (diseño de los caminos mineros)

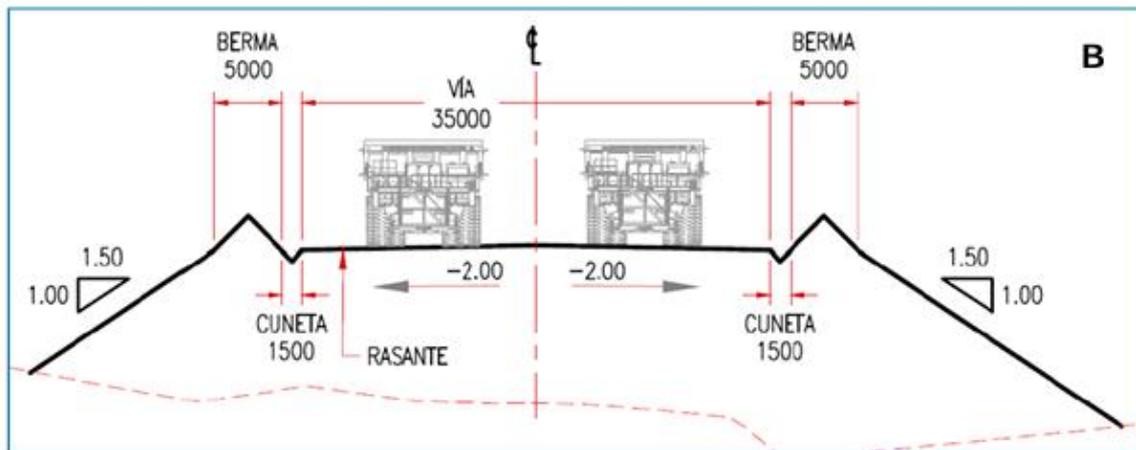


Figura 38: Fuente MMG LAS BAMBAS (diseño de los caminos mineros)

Trabajos de habilitación del tajo chalcobamba

Accesos

Será necesario habilitar un aproximado de 20.41 km de accesos adicionales a los existentes, los cuales tendrán un ancho de 03 m en promedio, lo que permitirá el

traslado de los vehículos, materiales y maquinarias a requerirse durante las actividades del Proyecto; asimismo, tendrá bermas de seguridad de hasta 0.5 m de alto y hasta 0.5 m de ancho.

Estos accesos para fines del manejo de las escorrentías, contarán con cunetas donde la topografía así lo requiera y siempre que permanezcan una época húmeda, que permitirán direccionar y coleccionar las aguas de no contacto generadas por la precipitación estacional, de manera que el agua pueda discurrir siguiendo su curso natural, considerando la dirección de las microcuencas y la topografía del terreno, hacia los cursos de agua más próximos. La cuneta será conformada con el material propio del terreno (terreno compactado), adyacente al acceso, tendrá una sección cuadrangular de aproximadamente 0.30 m de ancho mayor y 0.30 m de profundidad.

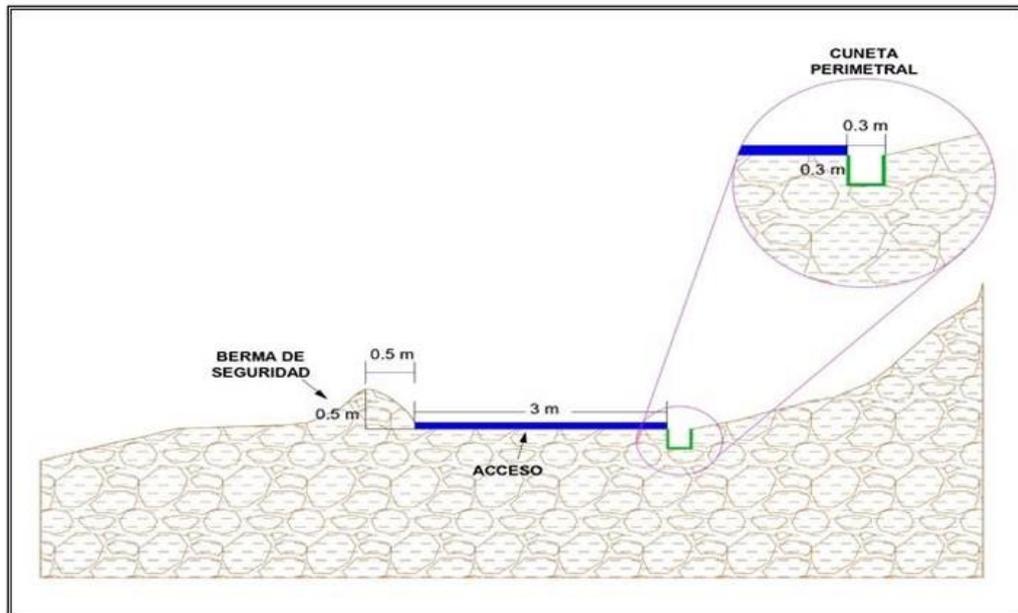


Figura 39: Fuente MMG LAS BAMBAS (acceso)

Pozos de sedimentación

Se habilitará 02 pozas matrices de sedimentación de lodos cuyas dimensiones serán de aproximadamente 25 m de largo, 25 m de ancho y 05 m de profundidad, con un área de hasta 625 m² y un volumen de hasta 3,125 m³, con base y paredes de suelo natural compactado, además, contará con impermeabilización de geomembrana de HDPE.

La función principal de dichas pozas será almacenar los lodos decantados (sedimentos), que provendrán desde las pozas de sedimentación de cada plataforma y siempre que así

se requiera. El transporte de los lodos hacia estas pozas matrices de sedimentación, se realizará con el apoyo de un camión cisterna cerrado, mediante tuberías y por bombeo.

Producción de Cobre en las Bambas

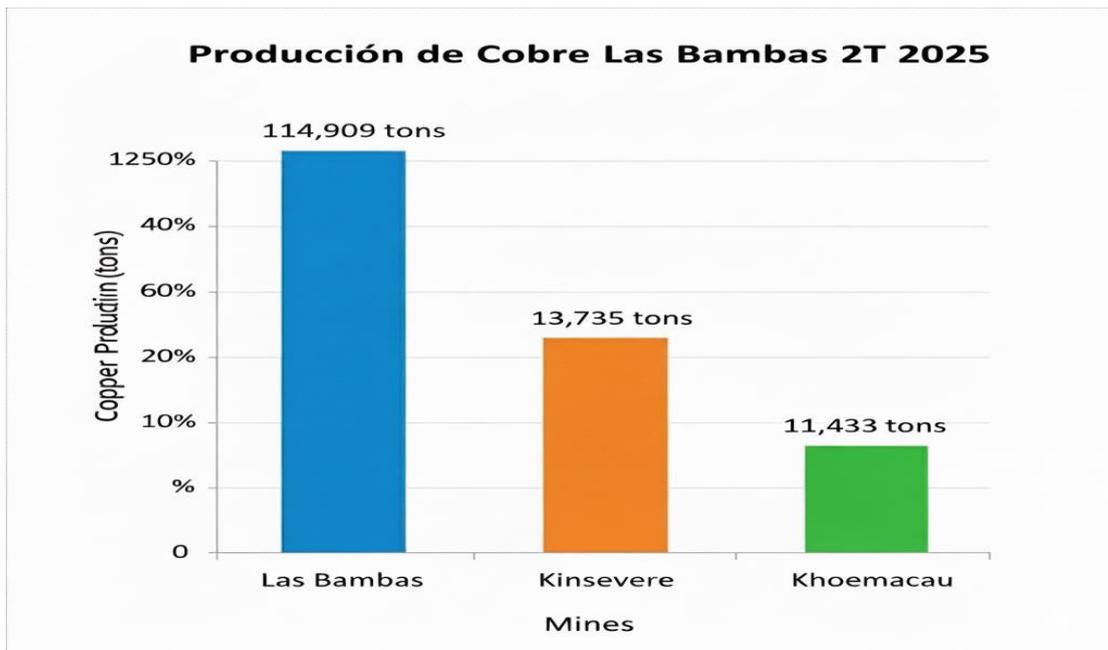
La Minera Las Bambas se consolidó como el motor principal de la producción de cobre de MMG en el segundo trimestre de 2025. Con una producción de **114,909 toneladas de concentrado de cobre**, Las Bambas representó el 81.86% de la producción total de la compañía, que ascendió a 140,368 toneladas.

Este logro se atribuye a varios factores clave:

- **Mejor ley de mineral:** Un 0.94% de ley de mineral molido.
- **Suministro constante:** Un flujo constante de mineral desde los tajos Chalcobamba y Ferrobamba.
- **Alta recuperación:** Una tasa de recuperación de cobre del 91.3%.

La producción de otras minas de cobre de MMG, como Kinsevere y Khoemacau, también contribuyó al total, pero en menor medida.

A continuación, se presenta un gráfico de pastel que visualiza la distribución de la producción de cobre entre las diferentes operaciones de MMG.



Producción de Cobre (Toneladas) - Segundo Trimestre de 2025

Mina	Producción de Cobre (Toneladas)	Porcentaje del Total
Las Bambas	114,909	81.86%
Kinsevere	13,735	9.78%
Khoemacau	11,433	8.15%
Total	140,077	99.79%

La planta concentradora de Las Bambas tiene una capacidad nominal de 140,000 toneladas por día (tpd), lo que equivale a un caudal anual de nombre de planta de 51.1 millones de toneladas por año (51.1 Mtpa). En los documentos oficiales y fichas técnicas la producción anual proyectada históricamente se ha situado en el orden de 280,000–320,000 t de cobre en años típicos de operación comercial.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA
<p>PROBLEMA GENERAL: ¿Qué acciones se debe tomar para incrementar la productividad del acarreo del material proveniente de la habilitación del botadero del tajo Chalcobamba en la U.M. LAS BAMBAS?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL: Proponer e implementar acciones para incrementar la productividad del acarreo del material orgánico y desmonte en la habilitación del botadero del tajo Chalcobamba en la U.M. LAS BAMBAS.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL: La construcción de una vía alterna permitirá alcanzar el incremento de la producción en el material inadecuado para la habilitación del botadero del Tajo Chalcobamba.</p>	<p>1.- Variable Independiente</p> <p>Construcción de vía Alterna.</p>	<p>Tipo de investigación. Cuantitativa.</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Descriptivo, evaluativo y propositivo.</p>
<p>PROBLEMA ESPECIFICO:</p> <ol style="list-style-type: none"> ¿Cómo mejorar el rendimiento de la flota de equipos de acarreo que realizan el traslado de material orgánico y desmonte para la habilitación del botadero del tajo Chalcobamba en la U.M. LAS BAMBAS? ¿Cómo mejorar la productividad de la flota de volquetes que transportan material orgánico y desmonte para la construcción del botadero del tajo Chalcobamba en la U.M. LAS BAMBAS? ¿Cuáles son los costos de producción de la flota de volquetes? 	<p>OBJETIVO ESPECIFICO:</p> <ol style="list-style-type: none"> Evaluar el rendimiento de la flota de equipos de acarreo que realizan el traslado de material orgánico y desmonte para la construcción del botadero del tajo Chalcobamba en la U.M. LAS BAMBAS. Evaluar la productividad de la flota de volquetes en la ruta alterna propuesta en el cruce del Haul Road. Determinar los costos de producción de la flota de volquetes. 	<p>HIPÓTESIS ESPECIFICA:</p> <ol style="list-style-type: none"> El rendimiento de la flota de equipos de acarreo se incrementará con la construcción de la vía alterna propuesta. La producción de la flota de volquetes se incrementará con la construcción de la via alterna propuesta en el cruce del Haul Road. Los costos de producción en el acarreo disminuyen con la construcción de la vía alterna. 	<p>2.- Dependiente</p> <p>Incremento de la productividad</p>	<p>Población.</p> <p>Se realiza en la flota de 25 volquetes que trasladan material orgánico y desmonte.</p> <p>Muestra.</p> <p>Ciclo de acarreo del volquete.</p>

Anexo 2. Registro del rendimiento de los Volquetes Referenciales

13/04/2025 RENDIMIENTO DE VOLQUETES								
	EQUIPO	CODIGO	TOTAL HORAS	ACARREO DE MATERIAL TOPSOIL HACIA BOTADERO DMO				
				N° DE VIAJES	CAP. DE VOLQUETE M3	VOLUMEN M3	CICLO PROMEDIO	DISTANCIA EN (km)
1	Volquete	2350	6.00	3	15	45	2:43:00	12.96
2	volquete	2156	6.00	3	15	45	2:13:00	12.96
3	Volquete	2205	7.00	3	15	45	2:43:00	12.96
4	Volquete	2133	4.50	3	15	45	2:46:00	12.96
5	Volquete	2454	7.00	3	15	45	2:48:00	12.96
6	Volquete	2453	6.50	3	15	45	2:49:00	12.96
7	Volquete	2449	5.00	2	15	30	2:45:00	12.96
8	Volquete	2450	5.00	2	15	30	2:48:00	12.96
9	Volquete	2551	6.00	2	15	30	2:40:00	12.96
10	Volquete	2550	5.00	2	15	30	2:45:00	12.96
11	Volquete	2451	7.00	3	15	45	2:53:00	12.96
12	Volquete	2452	7.00	2	15	30	2:58:00	12.96
13	Volquete	2572	5.00	2	20	40	2:29:00	12.96
14	Volquete	2571	6.00	1	20	20	2:57:00	12.96
15	Volquete	2574	7.00	1	20	20	2:59:00	12.96
16	Volquete	2573	7.00	3	20	60	2:51:00	12.96
16			6.06	38		605	2:45:26	

17/04/25 RENDIMIENTO DE VOLQUETES								
N°	EQUIPO	CODIGO	TOTAL HORAS	ACARREO DE MATERIAL TOPSOIL HACIA BOTADERO DMO				
				N° DE VIAJES	CAP. DE VOLQUETE M3	VOLUMEN M3	CICLO PROMEDIO	DISTANCIA EN (km)
1	volquete	2156	4.00	2	15	30	03:37:00	12.96
2	Volquete	2205	4.00	2	15	30	03:37:00	12.96
3	Volquete	2133	3.00	2	15	30	03:36:00	12.96
4	Volquete	2454	4.00	2	15	30	02:28:00	12.96
5	Volquete	2453	5.40	2	15	30	02:35:00	12.96
6	Volquete	2449	4.00	1	15	15	02:36:00	12.96
7	Volquete	2450	4.00	2	15	30	02:33:00	12.96
8	volquete	2551	4.00	2	20	40	03:11:00	12.96
9	Volquete	2550	4.00	2	20	40	02:45:00	12.96
10	Volquete	2451	4.00	2	20	40	02:28:00	12.96
11	Volquete	2572	5.00	2	20	40	03:37:00	12.96
12	Volquete	2571	4.00	2	20	40	01:49:00	12.96
13	Volquete	2574	4.00	1	20	20	03:25:00	12.96
14	volquete	2573	4.00	2	20	40	03:42:00	12.96
14			4.10	26		455	2:59:56	

24/04/25 RENDIMIENTO DE VOLQUETES								
N°	EQUIPO	CODIGO	TOTAL HORAS	ACARREO DE MATERIAL TOPSOIL HACIA BOTADERO DMO				
				N° DE VIAJES	CAP. DE VOLQUETE M3	VOLUMEN M3	CICLO PROMEDIO	DISTANCIA EN (m)
1	volquete	2156	4.00	2	15	30	02:17:00	12960
2	Volquete	2205	3.00	2	15	30	02:42:05	12960
3	Volquete	2133	3.96	2	15	30	02:38:00	12960
4	Volquete	2454	5.00	2	15	30	02:18:00	12960
5	Volquete	2453	4.00	2	15	30	03:15:00	12960
6	Volquete	2449	5.00	2	15	30	02:34:00	12960
7	Volquete	2450	5.00	2	15	30	03:05:00	12960
8	volquete	2551	4.00	2	15	30	02:51:00	12960
9	Volquete	2550	4.00	2	15	30	02:11:00	12960
10	Volquete	2451	4.00	2	15	30	02:31:00	12960
11	Volquete	2452	5.00	2	15	30	02:24:00	12960
12	Volquete	2572	4.00	2	20	40	01:47:00	12960
13	Volquete	2571	5.00	2	20	40	2:33:00	12960
14	Volquete	2574	4.00	2	20	40	03:01:00	12960
15	volquete	2636	4.00	2	20	40	02:37:00	12960
16	Volquete	2637	4.00	2	20	40	03:00:00	12960
17	volquete	2624	5.00	2	20	40	02:35:00	12960
17			4.29	34		490	2:38:42	

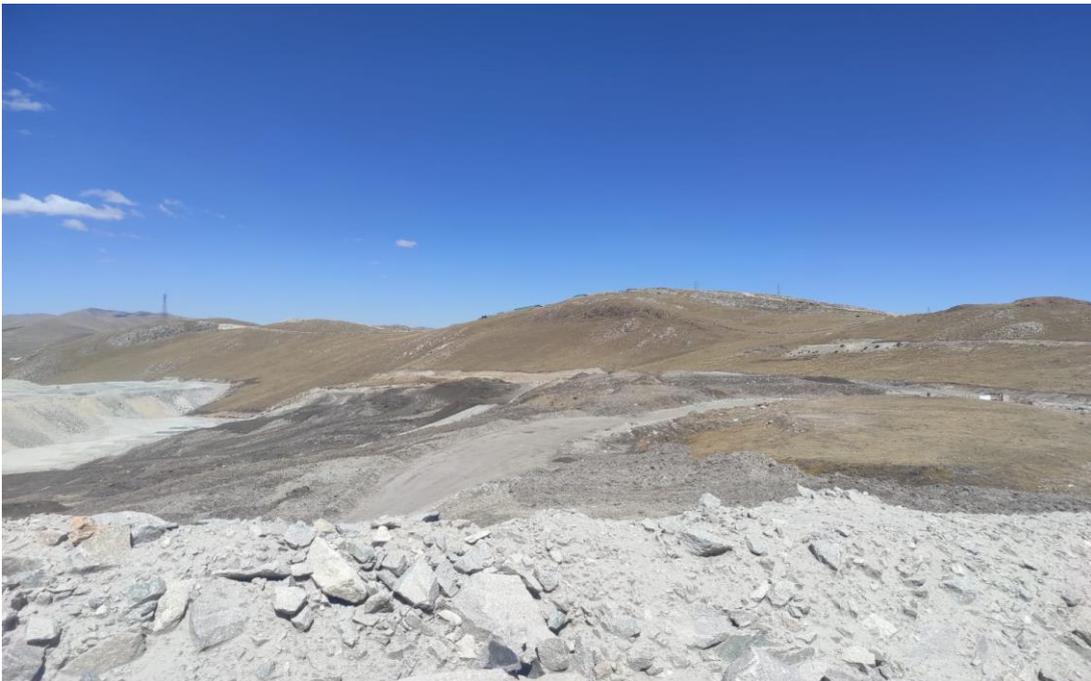
26/05/25 RENDIMIENTO DE VOLQUETES								
N°	EQUIPO	CODIGO	TOTAL HORAS	ACARREO DE MATERIAL TOPSOIL HACIA BOTADERO DMO				
				N° DE VIAJES	CAP. DE VOLQUETE M3	VOLUMEN M3	CICLO PROMEDIO	DISTANCIA EN (m)
1	Volquete	2350	6.00	5	15	75	01:55:00	12960
2	volquete	2156	7.00	4	17	68	01:33:00	12960
3	Volquete	2449	7.00	4	17	68	02:15:00	12960
4	volquete	2551	7.00	4	15	60	02:24:00	12960
5	Volquete	2451	8.00	4	17	68	02:23:00	12960
6	Volquete	2572	6.00	1	20	20	00:35:00	12960
7	Volquete	2574	8.00	4	20	80	01:46:00	12960
8	volquete	2573	7.00	4	22	88	02:16:00	12960
9	Volquete	2625	7.00	1	20	20	00:42:00	12960
10	volquete	2636	7.00	1	20	20	00:49:00	12960
11	Volquete	2637	4.00	2	20	40	04:43:00	12960
12	volquete	2624	7.00	4	20	80	02:21:00	12960
12			6.75	38		687	1:58:30	

Anexo 3. Panel Fotográfico

Control de número de viajes de acarreo



Acopio temporal de material orgánico



Flota de volquetes



Flota de volquetes



Carguío de material orgánico



Descarga de material orgánico



Anexo 4. Especificaciones técnicas de las maquinarias

Excavadora

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Consulte cat.com para conocer las especificaciones completas.

MOTOR		
Modelo de motor	C7.1	
Potencia neta ISO 9249:2007	223 kW	300 hp
Potencia del motor ISO 14396:2002	225 kW	302 hp
Calibre	105 mm	4"
Carrera	135 mm	5"
Cilindrada	7,01 L	428 pulg ³
Emisiones equivalentes a Tier 3 de la EPA de los EE.UU. y Stage IIIA de la Unión Europea. Clasificaciones a 2.200 rpm		
SISTEMA HIDRÁULICO		
Sistema principal: flujo máximo del implemento	560 L/min (280 x 2 bombas)	148 gal/min (74 x 2 bombas)
Presión máxima: equipo, implemento	35.000 kPa	5.076 lb/pulg ²
Presión máxima: equipo: modalidad de levantamiento	38.000 kPa	5.511 lb/pulg ²
Presión máxima: desplazamiento	35.000 kPa	5.076 lb/pulg ²
Presión máxima: giro	29.400 Kpa	4.264 psi
MECANISMO DE GIRO		
Velocidad de giro	8,84 rpm	
Par de giro máximo	143 kN-m	105.250 lbf-pie
TRACCIÓN		
Velocidad máxima de desplazamiento	4,7 km/h	2,9 mph
Impulso máximo de la barra de tiro	302,7 kN	68.050 lbf
CAPACIDADES DE LLENADO DE SERVICIO		
Capacidad del tanque de combustible	600 L	158,5 gal
Sistema de enfriamiento	39 L	10,2 gal EE.UU.
Aceite del motor (con filtro)	25 L	6,6 gal EE.UU.
Mando de giro	18 L	4,8 gal
Mando final (cada uno)	8 L	2,1 gal
Sistema hidráulico (incluido el tanque)	373 L	98,5 gal
Tanque hidráulico (tubo de succión incluido)	161 L	42,5 gal
PESOS		
Peso en orden de trabajo	35.200 kg	77.700 lb
Tren de rodaje largo y ancho, pluma de alcance HD, Brazo HD R3.2DB (10' 6"), cucharón GD de 2,12 m ³ (2,77 yd ³), zapatas con garras triples de 600 mm (24"), contrapeso de 6,8 mT (15.000 lb).		

DIMENSIONES		
Pluma	Pluma de alcance 6,5 m (21' 4")	Pluma para excavación de gran volumen de 6,18 m (20' 3")
Brazo	Brazo de alcance 3,2 m (10' 6")	Brazo para gran volumen 2,55 m (8' 4")
Cucharón	GD 2,12 m³ (2,77 yd ³)	SDV 2,41 m³ (3,15 yd ³)
Altura de embarque (parte superior de la cabina)	3.180 mm 10' 5"	3.180 mm 10' 5"
Altura del pasamanos	3.180 mm 10' 5"	3.180 mm 10' 5"
Longitud de embarque	11.150 mm 36' 7"	10.880 mm 35' 8"
Radio de giro de la cola	3.530 mm 11' 7"	3.530 mm 11' 7"
Espacio libre del contrapeso	1.260 mm 4' 2"	1.260 mm 4' 2"
Espacio libre sobre el suelo	510 mm 1' 8"	510 mm 1' 8"
Longitud de la cadena	5.030 mm (16' 6")	5.030 mm (16' 6")
Longitud de la cadena al centro de los rodillos	4.040 mm (13' 3")	4.040 mm (13' 3")
Entrevería de cadena	2.740 mm 9'0"	2.740 mm 9'0"
Ancho de transporte: zapatas de 600 mm (24")	3.340 mm 10'11"	3.340 mm 10'11"
GAMAS Y FUERZAS DE TRABAJO		
Pluma	Pluma de alcance 6,5 m (21' 4")	Pluma para excavación de gran volumen de 6,18 m (20' 3")
Brazo	Brazo de alcance 3,2 m (10' 6")	Brazo para gran volumen 2,55 m (8' 4")
Cucharón	GD 2,12 m³ (2,77 yd ³)	SDV 2,41 m³ (3,15 yd ³)
Profundidad máxima de excavación	7.470 mm 24' 6"	6.720 mm 22' 1"
Alcance máximo en la línea a nivel del suelo	11.020 mm 36' 2"	10.340 mm 33' 11"
Altura máxima de corte	10.300 mm 33' 10"	10.010 mm 32' 10"
Altura máxima de carga	7.130 mm 23' 5"	6.550 mm 21' 6"
Altura mínima de carga	2.630 mm 8' 8"	2.860 mm 9' 5"
Profundidad máxima de corte con fondo plano de 2.440 mm (8' 0")	7.310 mm 24' 0"	6.550 mm 21' 6"

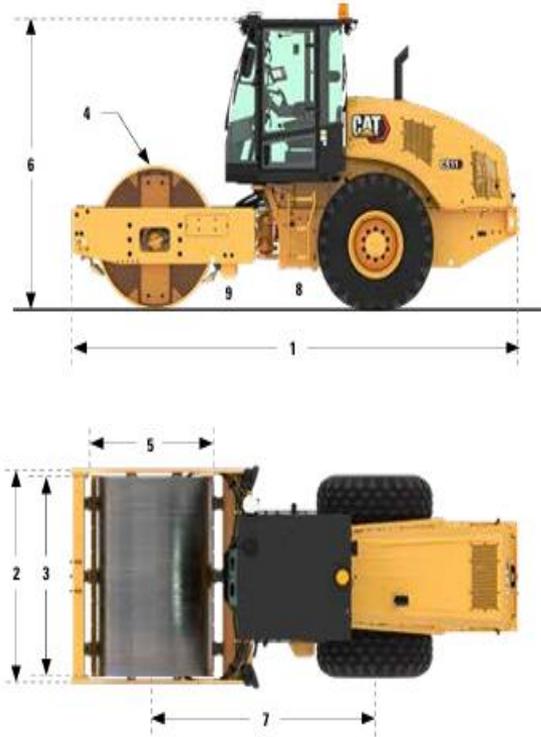
Rodillo Compactador

Compactador de Suelos Vibratorio de Tambor Liso CS11 Cat®

Especificaciones técnicas

Dimensiones			
1	Longitud total	5,9 m	19,2'
2	Ancho total	2,3 m	7,5'
3	Ancho del tambor	2.134 mm	84"
4	Grosor del revestimiento del tambor	25 mm	1"
5	Diámetro del tambor	1.534 mm	60,4"
6	Altura total		
	Techo	3,1 m	10,1'
	Cabina	3,1 m	10,2'
7	Distancia entre ejes	2,9 m	9,5'
8	Espacio libre sobre el suelo	433 mm	17"
9	Espacio libre vertical	535 mm	21,1"
	Radio de giro interior	3,7 m	12,1'
	Ángulo de articulación de enganche	34°	
	Ángulo de oscilación de enganche	15°	

Kit de revestimiento de pisones optativos			
	Cantidad de pisones	120	
	Cantidad de salientes y entrantes curvos	16	
	Pisones ovalados		
	Altura del pison	89,1 mm	3,5"
	Superficie del pison	63,5 cm ²	9,8 pulg ²
	Pisones cuadrados		
	Altura del pison	89,2 mm	3,5"
	Superficie del pison	105,7 cm ²	16,4 pulg ²



Motoniveladora

Especificaciones de la Motoniveladora 160

Motor		
Modelo de motor	Cat C7	
Potencia base (1ª marcha): neta	139 kW	186 hp
Potencia base (1ª marcha): neta (métrica)	189 mhp	
Gama de VHP: neta	139 a 154 kW 186 a 206 hp	
VHP: marchas		
1 a 2 netas	139 kW	186 hp
3 neta	147 kW	196 hp
4 a 8 netas	154 kW	206 hp
1 a 2 brutas	151 kW	203 hp
3 bruta	159 kW	213 hp
4 a 8 brutas	166 kW	223 hp
Cilindrada	7,2 L	439 pulg ³
Perforación	105 mm	4,1"
Carrera	127 mm	5"
Reserva de par	46 %	
Par neto máximo	1.076 N·m	794 lbf·pie
Velocidad a potencia nominal	2.000 rpm	
Cantidad de cilindros	6	
Reducción de potencia por altitud	3.048 m	10.000'
Velocidad máxima del ventilador	1.925 rpm	
Capacidad para temperatura ambiente alta	50 °C	122 °F

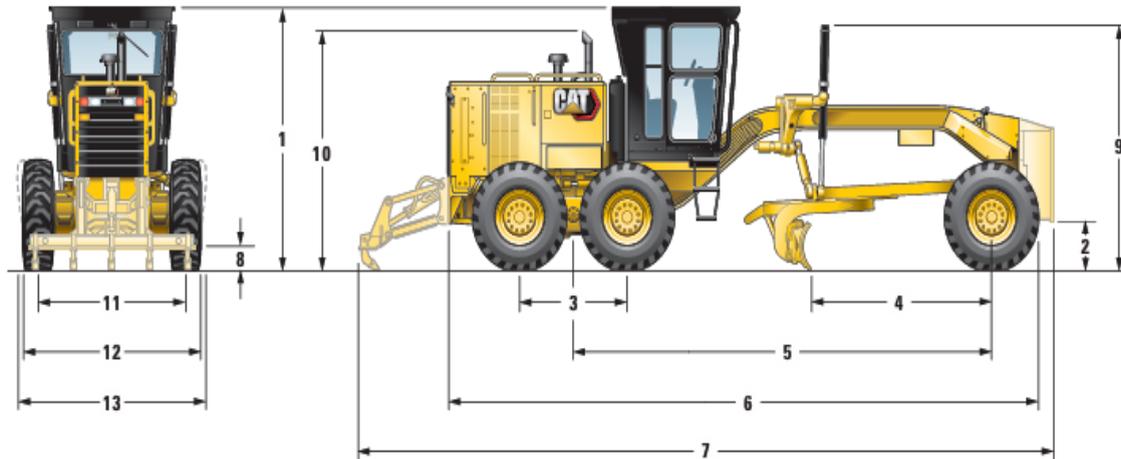
- La potencia neta está probada según las normas ISO 9249:2007, SAEJ1349:2011 y 80/1269/EEC.
- La potencia neta publicada es la potencia disponible a una velocidad nominal de 2.000 rpm, medida en el volante cuando el motor cuenta con ventilador, con filtro de aire, con silenciador y con alternador.

Especificaciones de operación		
Velocidad máxima		
Avance	46,9 km/h	29,1 mph
Retroceso	37,0 km/h	23,0 mph
Radio de giro, neumáticos delanteros exteriores	7,5 m	24' 9"
Alcance de dirección: izquierda o derecha	47,5 grados	
Ángulo de articulación: izquierda o derecha	20 grados	
Avance		
1ª	4,1 km/h	2,5 mph
2ª	5,5 km/h	3,4 mph
3ª	8,1 km/h	5,0 mph
4ª	11,1 km/h	6,9 mph
5ª	17,2 km/h	10,7 mph
6ª	23,4 km/h	14,6 mph
7ª	32,2 km/h	20,0 mph
8ª	46,9 km/h	29,1 mph
Retroceso		
1ª	3,2 km/h	2,0 mph
2ª	6,0 km/h	3,7 mph
3ª	8,8 km/h	5,4 mph
4ª	13,6 km/h	8,4 mph
5ª	25,4 km/h	15,8 mph
6ª	37,0 km/h	23,0 mph

- Velocidades máximas de desplazamiento calculadas a rpm nominales en una configuración de máquina estándar con neumáticos 17.50-25 12PR (G-2).

Dimensiones

Todas las dimensiones son aproximadas.



	12K		140K		160K	
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
1 Altura: cabina ROPS	3.354	132,0	3.354	132,0	3.354	132,0
Altura: cabina sin ROPS	3.348	131,8	3.348	131,8	3.348	131,8
Altura: techo ROPS	3.354	132,0	3.354	132,0	3.354	132,0
2 Espacio libre sobre el suelo: eje delantero central	626	24,6	626	24,6	626	24,6
3 Longitud: entre ejes en tándem	1.523	60,0	1.523	60,0	1.523	60,0
4 Longitud: desde el eje delantero hasta la vertedera	2.598	102,3	2.598	102,3	2.598	102,3
5 Longitud: desde el eje delantero hasta el tándem medio	6.086	239,6	6.086	239,6	6.086	239,6
6 Longitud: desde el neumático delantero hasta la parte trasera de la máquina	8.504	334,8	8.504	334,8	8.504	334,8
7 Longitud: desde el contrapeso hasta el desgarrador	10.013	394,2	10.013	394,2	10.013	394,2
8 Espacio libre sobre el suelo, caja de Caja	362	14,3	362	14,3	362	14,3
9 Altura: parte superior de los cilindros	3.049	120,0	3.049	120,0	3.049	120,0
10 Altura hasta el tubo de escape vertical	2.895	114,0	2.895	114,0	2.895	114,0
11 Ancho: líneas centrales de los neumáticos	2.065	81,3	2.065	81,3	2.065	81,3
12 Ancho: neumáticos traseros exteriores	2.452	96,6	2.452	96,6	2.452	96,6
13 Ancho: neumáticos delanteros exteriores	2.481	97,7	2.481	97,7	2.481	97,7

Volquete.

DIMENSIONES

Cabina: Cabina extendida. Opcional: Cabina Dormitorio T. Normal / Globetrotter. Suspensión mecánica. Paragolpes de acero y mayor ángulo de ataque.



[A] Altura libre sobre túnel de motor. [B] Ancho desde centro de eje direccional a final de chapa de cabina. [C] Distancia entre ejes. [D] Largo voladizo trasero. [E] Largo total (variable según C/D).
Todas las medidas son de referencia, para mayor detalle consultar con Ingeniería de Ventas.

FICHA TÉCNICA

VOLVO FMX 6X4 R VOCACIONAL 380/460 cv

Motor

Modelo: VOLVO D13C Euro 5 SCR.

Características: 12,8 litros, 6 cilindros en línea. Unidades individuales de inyector bomba.

Potencias: 380/460 cv (1.400 - 1.900 rpm).

Torques: 1.900/2.300 Nm (1.000 - 1.400 rpm).

Caja de velocidades

Modelo: Volvo I-Shift AT2612F

Tipo: Automatizada sin sincronizados.

Marchas: 12 velocidades adelante y 4 atrás.

Opcional: I-Shift ULC de 14 marchas, 12 + 2 súper reducidas (32,04:1/ 19,38:1).

Suspensión delantera

Tipo: Ballestas parabólicas con amortiguadores y barra estabilizadora.

Diferencial

Modelo: RTH3210F con red. de cubos.

Relación de reducción: 3,33 / 3,46 / 3,61 / 3,76 / 3,97 / 4,12 / 4,55 / 5,41 / 6,18 / 7,21.

Capacidad de arrastre: 100 Tn (consultar para mayores capacidades).

Frenos

Tipo: Frenos a tambor con EBS/ABS y control de tracción.

Freno auxiliar: Freno de motor VEB a través de válvulas de 410 cv (para 380) o VEB+ de 510 cv (para 460).

Opcional: Retardador hidráulico.

Suspensión trasera

Tipo: Ballestas semielípticas con amortiguadores y barra estabilizadora.

Capacidad: 26.000 a 32.000 kg.

Volvo Trucks. Acelerando el futuro



Tanques de combustible

Tipo: Rectangular plástico.

Capacidad: 400 lts.

Neumáticos y llantas

Neumáticos: 13,00R22,5 (consultar disponibilidad)

Llantas: Acero 9".

Pesos y capacidades (kg)

Capacidad técnica 28.500 a 42.000

Peso del chasis * 9.600

*Pesos estimados con 100 lts de combustible y sin chofer.

