

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Evaluación del rendimiento de los equipos de carguío y transporte de
relaves para mejorar la producción en Volcán Compañía Minera –Unidad
Chungar**

Para optar el título profesional de

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach.: Jürgen Julinho HINOSTROZA HUAMAN

Asesor:

Mg. Wilfried Bryan PEREZ PARRAGUEZ

Cerro de Pasco – Perú - 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Evaluación del rendimiento de los equipos de carguío y transporte de
relaves para mejorar la producción en Volcán Compañía Minera –Unidad
Chungar**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO
PRESIDENTE

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA
MIEMBRO

Mg. Manuel Mayer CARHUARICRA RIVERA
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

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



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 008-2026

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

Presentado por:

Bach. HINOSTROZA HUAMAN, Jürgen Julinho

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo:
"Evaluación del rendimiento de los equipos de carguío y transporte de relaves para mejorar la producción en Volcan Compañía Minera – Unidad Chungar"

Asesor:

Mg. Wilfried Bryan, PEREZ PARRAGUEZ

Índice de Similitud: 7 %

Calificativo

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 05 de mayo de 2026



Firmado digitalmente por
FERNÁNDEZ MALLCÚI Raul FAU
20154000040 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05.05.2026 11:50:42 -05:00

DEDICATORIA

Desde lo profundo de mi alma a la memoria de mi madre María quien con su amor y enseñanzas forjó mi carácter, a mi padre Edgardo por sus enseñanzas, sacrificio diario y apoyo incondicional, a mis hermanos por el aliento constante.

AGRADECIMIENTO

Mi más genuino agradecimiento a DIOS por bendecirme en cada instante de mi vida y permitir en su inconmensurable amor desafíos maravillosos, a mi padre y hermanos por el apoyo imperecedero. A mi alma mater, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, en particular a la Facultad de ingeniería de minas. También, mencionar a Darwin L. un gran amigo y colega en la empresa San Juan de Huayllay.

RESUMEN

La presente investigación, titulada "Evaluación del rendimiento de los equipos de carguío y transporte de relaves para mejorar la producción en Volcán Compañía Minera – Unidad Chungar", tuvo como objetivo principal evaluar el rendimiento operativo del ciclo de carguío y transporte de la mezcla de relaves y desmonte en los trabajos que realiza la contrata Empresa Comunal Multiservicios San Juan de Huayllay, correspondiente a la mina Animon de la Unidad Minera Chungar. La hipótesis del estudio planteó que la evaluación sistemática de dichos procesos permitiría identificar oportunidades factibles y viables para incrementar la producción. Metodológicamente, la investigación se clasifica como aplicada, de nivel descriptivo y con un diseño no experimental. La muestra de estudio estuvo compuesta por la flota operativa de 16 volquetes y 5 equipos de carguío asignados a dichas actividades en la unidad minera.

Los indicadores de utilización de la flota evidenciaron una mejora significativa tras la implementación de las mejoras. Para los equipos de carguío, el porcentaje de utilización en la etapa inicial fue de 73.22%, por debajo del estándar establecido del 85%. Tras las intervenciones, este indicador alcanzó un 82.39%, aproximándose al valor meta. En el caso de los equipos de acarreo, la utilización pasó de 80.69% en la primera etapa a 83.61% en el período de septiembre a noviembre, como resultado de los controles y optimizaciones implementados.

Respecto al rendimiento operativo medido en metros cúbicos por hora (m^3/h), se observó una tendencia similar. Los equipos de carguío registraron un rendimiento de 45.10 m^3/h durante los meses de junio a agosto, inferior al estándar de 55.81 m^3/h . Posteriormente, en el período de septiembre a noviembre, se superó dicho estándar, alcanzando un promedio de 57.35 m^3/h . Para los equipos de acarreo, el rendimiento inicial de 11.87 m^3/h (estándar: 13.80 m^3/h) fue incrementado hasta 15.26 m^3/h tras las mejoras en el sistema.

Palabras clave: Rendimiento, Carguío, Acarreo, relaves.

ABSTRACT

This research, entitled “Evaluation of the Performance of Tailings Loading and Transport Equipment to Improve Production at Volcán Mining Company – Chungar Unit,” aimed to evaluate the operational performance of the tailings and waste rock loading and transport cycle in the work carried out by the contractor Empresa Comunal Multiservicios San Juan de Huayllay, at the Animón mine of the Chungar Mining Unit.. The hypothesis proposed stated that: By evaluating the tailings loading and transport processes, it is feasible and viable to improve production in these processes at Volcán Mining Company – Chungar Unit. Methodologically, the study is framed within applied research, with a descriptive level and a non-experimental design. The sample consists of 16 transport dump trucks and 5 loading units used at Volcán Mining Company – Chungar Unit.

As a main conclusion, the percentage of utilization of the loading and hauling equipment showed the following results: in the loading equipment in the first stage it was 73.22% not reaching the established standard (85%), after the improvements made it reached 82.39% close to the standard. Regarding the haulage equipment, the first stage achieved 80.69% efficiency. In the second stage (September, October, and November), this figure reached 83.61% due to improvements and controls implemented. The performance of the loading and haulage equipment was 45.10 m³/hr for loading equipment during June through August, falling short of the standard (55.81 m³/hr). After improvements were made between September and November, the standard was exceeded, reaching 57.35 m³/hr. As for the haulage equipment, the first stage saw an average of 11.87 m³/hr, also falling short of the standard (13.80 m³/hr). After implementing system improvements, this figure reached 15.26 m³/hr.

Keywords: Performance, Loading, Hauling, Tailings.

INTRODUCCION

En la Unidad minera Chungar el relave filtrado se mezcla con desmontes (material estéril de la mina) en una proporción específica 3x1, posterior a la obtención de la humedad óptima y venteado necesario, el relave es mezclado con desmonte con granulometría adecuada. Cabe mencionar que es crucial el traslado hacia el Punto de Apilamiento más aún en épocas de invierno por la estabilidad del terreno para carguío y descargué, y con ello se genera tiempos muertos y demoras operativas que repercuten en el ciclo de traslado. Para realizar este proceso se dispone desmonte desde dos puntos específicos Frente de Balanza y Dique Sur, los cuales son trasladados por nuestra flota.

Con base en los antecedentes expuestos, esta investigación tiene como propósito evaluar la productividad del ciclo integral de carguío y transporte de la mezcla de relaves y desmonte, mediante la aplicación de un estudio de tiempos y productividad estandarizado para dichas actividades.

La estructura formal del documento de investigación se organiza de la siguiente manera:

Capítulo I: Problema de investigación Se formula el problema general y los problemas específicos vinculados a los parámetros de evaluación del rendimiento en las operaciones de carguío y transporte de relaves. Incluye además la definición de objetivos, la justificación técnica y económica, la hipótesis principal, la operacionalización de variables, así como las delimitaciones y limitaciones identificadas.

Capítulo II: Marco Teórico. Contiene la revisión y análisis de antecedentes de investigaciones previas sobre evaluación de productividad en operaciones de carguío y acarreo en el sector minero. Asimismo, desarrolla las bases teóricas y conceptuales fundamentales que sustentan técnicamente el estudio.

Capítulo III: Metodología y técnicas de la investigación Describe el diseño metodológico, especificando el tipo, nivel y método de investigación, el diseño no experimental, la población y muestra de equipos, así como las técnicas, instrumentos de recolección de datos y los procedimientos para su procesamiento y análisis.

Capítulo IV: Resultados y Discusión. Presentación y Análisis de Resultados. Expone de manera sistemática los resultados obtenidos de la evaluación en campo en la Unidad Minera Chungar, acompañados de su correspondiente análisis e interpretación.

Conclusiones y Recomendaciones. Deriva las conclusiones del estudio en relación con los objetivos planteados y formula recomendaciones específicas para la optimización de las operaciones.

Finalmente, se incluyen las Referencias Bibliográficas que fundamentan la investigación.

El autor

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema.....	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	3
1.3.	Formación del problema	3
1.3.1.	Problema general	3
1.3.2.	Problemas específicos.....	3
1.4.	Formulación de objetivos.....	4
1.4.1.	Objetivo general.....	4
1.4.2.	Objetivos específicos	4
1.5.	Justificación de la investigación	4
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	5

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	7
------	------------------------------	---

2.2.	Bases teóricas – científicas.....	10
2.3.	Definición de términos básicos	28
2.4.	Formulación de hipótesis	32
2.4.1.	Hipótesis general.....	32
2.4.2.	Hipótesis específicas	32
2.5.	Identificación de variables	32
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	34

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	35
3.2.	Nivel de investigación.....	35
3.3.	Métodos de investigación.....	36
3.4.	Diseño de investigación	36
3.5.	Población y muestra	36
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	38
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	39
3.9.	Tratamiento estadístico	40
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	40

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.	Descripción del trabajo de campo	41
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	43
4.3.	Prueba de hipótesis.....	82
4.4.	Discusión de resultados.....	96

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 . Utilización del equipo	22
Tabla 2. Rendimiento del equipo LHD.....	23
Tabla 3. Rendimiento LHD – Camión.....	23
Tabla 4. Rendimiento de Camión	24
Tabla 5 . Especificaciones técnicas del LHD R2900G CAT	24
Tabla 6. Costos asociados a LHD	26
Tabla 7. Costos asociados a camiones	27
Tabla 8. Costos asociados a fajas transportadoras	27
Tabla 9. Costos asociados a Skips	28
Tabla 10. Comparativo de costos.....	28
Tabla 11. Operacionalización de variables e indicadores	34
Tabla 12. Accesibilidad a la mina Animón.....	42
Tabla 13. Especificaciones Técnicas de volquete Mercedes – Benz Actros 3344 K	52
Tabla 14. Especificaciones Técnicas de volquete volvo FMX 440/480 6x4R	53
Tabla 15. Equipos utilizados en el proyecto relavera	54
Tabla 16. Equipos de carguío.....	55
Tabla 17. Numero de volquetes	56
Tabla 18. Promedio de % de utilización mensual de las excavadoras en los meses de junio, julio y agosto del 2024.....	57
Tabla 19. Promedio de % de utilización mensual de volquetes en los meses de junio, julio y agosto del 2024	58
Tabla 20. Hoja de control diario de equipo.....	61
Tabla 21. Formato de control de tiempos	62
Tabla 22 . Distribución de horas totales y tiempos improductivos.....	64

Tabla 23. Horas improductivas en carguío en los meses de junio, julio y agosto 2024	73
Tabla 24. Horas de demoras en carguío en los meses de septiembre, octubre y noviembre 2024	75
Tabla 25. Horas de demoras en acarreo de los meses de junio, julio y agosto 2024	77
Tabla 26. Horas de demoras en acarreo en los meses de septiembre, octubre y noviembre 2024	80
Tabla 27. Promedio de utilización (%) de las excavadoras en los meses de junio, julio y agosto antes de aplicar los controles	85
Tabla 28. Promedio de utilización (%) de las excavadoras en los meses de septiembre, octubre y noviembre después de aplicar los controles.....	85
Tabla 29. Porcentaje promedio de utilización de equipos de acarreo.....	86
Tabla 30. Promedio de utilización (%) de los volquetes en los meses de junio, julio y agosto antes de aplicar los controles	88
Tabla 31. Promedio de utilización (%) de los volquetes en los meses de septiembre, octubre y noviembre después de aplicar los controles.....	89
Tabla 32. Porcentaje promedio por mes de utilización de los equipos de acarreo de junio a noviembre 2024	90
Tabla 33. Rendimiento promedio mensual de excavadoras de los meses de junio, julio y agosto (antes)	91
Tabla 34. Rendimiento promedio mensual de excavadoras de los meses de septiembre, octubre y noviembre (después).....	92
Tabla 35. Rendimiento promedio de volquetes en acarreo de material de relave de los meses de junio, julio y agosto (antes).....	93
Tabla 36. Rendimiento promedio de volquetes en acarreo de material de relave en los meses de septiembre, octubre y noviembre (después).....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Algunos equipos mineros	12
Figura 2. Traspaso gravitacional.....	16
Figura 3. Selección del material en la parilla.....	17
Figura 4. Chute o tolva en minería de rieles	17
Figura 5. Transporte con locomotoras	18
Figura 6. Tajeo o frente de extracción	19
Figura 7. Scoop de 6 yd ³ de capacidad.....	20
Figura 8 . Equipo LHD R1300G – CAT	20
Figura 9. LHD (Load, Haul y Dump)	21
Figura 10. Componentes de equipo LHD	21
Figura 12. Equipo de acarreo Dámper capacidad 20 ton (Fuente: Atlas Copco)	26
Figura 13. Ubicación de la mina Animon.....	42
Figura 14. Dos fajas (104 y 105) de disposición de relave seco.....	44
Figura 15. Carguío a volquetes para traslado hacia plataforma de apilonamiento	44
Figura 16. Vista de la Presa de relaves	45
Figura 17. Vista de plataforma de apilonamiento, patio de transferencia	45
Figura 18. Corte y empuje de mezcla para conformación de capas.....	46
Figura 19. Adecuación de la mezcla para conformación de capas	46
Figura 20. Traslado de material con volquetes	47
Figura 21. Plano de acceso temporal planta.....	48
Figura 22. Plano de acopio patio de transferencia	49
Figura 23. Ciclo de carguío.....	50
Figura 24. Dimensiones de la excavadora CAT 336	51
Figura 25. Ciclo de acarreo.....	52

Figura 26. Promedio de % de utilización mensual de las excavadoras en los meses de junio, julio y agosto del 2024.....	58
Figura 27. Promedio de % de utilización mensual de los volquetes en los meses de junio, julio y agosto del 2024	59
Figura 28. Distribución de los tiempos improductivos	63
Figura 29. Equipos parqueados por factor climático	66
Figura 30. Control topográfico de la plataforma de la relavera	68
Figura 31. Mantenimiento de vías	69
Figura 32. Reuniones de inicio de guardia.....	70
Figura 33. Capacitación al personal de campo	71
Figura 34. Monitoreo del clima, comunicación radial.....	71
Figura 35. Horas improductivas en carguío en los meses de junio, julio y agosto 2024.....	73
Figura 36. Diagrama de Pareto demoras en Carguío, meses de junio, julio, agosto 2024.....	74
Figura 37. Horas improductivas en carguío en los meses de setiembre, octubre, noviembre 2024.....	74
Figura 38. Diagrama de Pareto para las demoras en carguío en los meses de setiembre, octubre y noviembre 2024	76
Figura 39. Representación gráfica de las demoras en acarreo de los meses de junio, julio y agosto 2024.....	78
Figura 40. Diagrama de Pareto para las demoras en acarreo, meses de junio, julio y agosto 2024	79
Figura 41. Horas improductivas en acarreo en los meses de setiembre, octubre, noviembre 2024	80
Figura 42. Diagrama de Pareto para las demoras en acarreo en los meses de setiembre, octubre y noviembre 2024	81

Figura 43. Incremento del % de utilización en carguío, antes (junio - agosto) y después (septiembre - noviembre).....	86
Figura 44. Incremento del % de utilización en acarreo, antes (junio - agosto) y después (septiembre - noviembre) de aplicar el estudio.....	90
Figura 45. Rendimiento promedio mensual de excavadoras de los meses de junio, julio y agosto (antes)	91
Figura 46. Rendimiento promedio mensual de carguío de los meses de septiembre, octubre y noviembre (después).....	92
Figura 47. Rendimiento promedio de volquetes en acarreo de material de relave en los meses de junio, julio y agosto (antes).....	94
Figura 48. Rendimiento promedio de volquetes en acarreo de material de relave en los meses de septiembre, octubre y noviembre (después).....	95

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Un sistema de gestión y optimización de flota minera (FMS, por sus siglas en inglés) constituye una solución tecnológica integrada de hardware y software diseñada para incrementar la productividad de la flota, reducir los costos operativos y de mantenimiento, disminuir el consumo de combustible y extender la vida útil de los equipos. Adicionalmente, este sistema debe contribuir a mejorar el control de la ley de mineral y a incrementar los estándares de seguridad en las operaciones.

Entre las funcionalidades clave de un sistema de estas características se encuentran:

- El aumento de la productividad mediante la administración inteligente de la carga, la minimización de los tiempos de espera y ciclo, la generación de reportes en tiempo real y la planificación detallada de la producción.
- La reducción de costos a través del guiado de alta precisión, el monitoreo de la salud mecánica de los equipos y la evaluación del comportamiento de los operadores.

- La aplicación de modelos de Programación Lineal para optimizar la gran cantidad de variables asociadas a las rutas y al desempeño de los vehículos.

El transporte representa uno de los servicios auxiliares críticos en minería. Esta operación, históricamente sujeta a ineficiencias, constituye un componente mayoritario de los costos operativos totales. Uno de los principales desafíos es la gestión óptima de los tiempos en cada etapa del ciclo de transporte. Una gestión ineficiente de estos tiempos genera consecuencias operativas y económicas directas, como retrasos en la entrega de material, incremento de costos y reducción de la productividad global.

La función específica del ciclo de carguío y transporte es evacuar el material fragmentado producto de la voladura desde el frente de trabajo hasta su destino designado. El ciclo operativo se descompone en los siguientes tiempos fundamentales:

- Tiempo de giro y posicionamiento del equipo de carguío.
- Tiempo efectivo de carguío.
- Tiempo de acarreo con carga.
- Tiempo de descarga y maniobras en el punto de vertido.
- Tiempo de retorno en vacío.

La maximización del rendimiento de este ciclo requiere garantizar un entorno operativo integralmente adecuado. Factores como la disponibilidad mecánica de los equipos, la programación eficiente del mantenimiento, la cadena de suministros, la capacitación de los operadores y la supervisión técnica deben ser gestionados de manera coordinada. Este conjunto de variables debe alinearse con las demás etapas del proceso minero para alcanzar los parámetros óptimos definidos para las labores.

En la Unidad minera Chungas el relave filtrado se mezcla con desmontes (material estéril de la mina) en una proporción específica 3x1, posterior a la obtención de la humedad óptima y venteado necesario, el relave es mezclado con desmonte con

granulometría adecuada. Cabe mencionar que es crucial el traslado hacia el Punto de Apilamiento más aún en épocas de invierno por la estabilidad del terreno para carguío y descargué, y con ello se genera tiempos muertos y demoras operativas que repercuten en el ciclo de traslado. Para realizar este proceso se dispone desmonte desde dos puntos específicos Frente de Balanza y Dique Sur, los cuales son trasladados por nuestra flota.

Teniendo en cuenta estos aspectos la investigación se propone optimizar los costos de carguío y transporte de la mezcla de relave con desmonte a Trávez de un estudio de tiempos de estas actividades.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El ámbito geográfico de la investigación se circunscribe a las instalaciones operativas de la Unidad Minera Chungar, específicamente en el área de la mina Animon. Esta unidad es propiedad de la Compañía Minera Volcan S.A.A. y se encuentra localizada en el distrito de turístico de Huayllay, provincia y departamento de Pasco.

1.2.2. Delimitación temporal

El período de ejecución de la investigación está proyectado para un intervalo de seis (6) meses, comprendido entre julio y diciembre del año 2024.

1.3. Formación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo podemos evaluar el rendimiento del carguío y transporte de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay - Unidad Minera Chungar – mina Animon?

1.3.2. Problemas específicos

Problema específico a

¿Cómo podemos evaluar el rendimiento del carguío de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay - Unidad Minera Chungar – mina Animon?

Problema específico b

¿Cómo podemos evaluar el rendimiento del transporte de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay - Unidad Minera Chungar – mina Animon?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el rendimiento del carguío y transporte de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay - Unidad Minera Chungar – mina Animon.

1.4.2. Objetivos específicos

Objetivo específico a

Evaluar el rendimiento del carguío de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay - Unidad Minera Chungar – mina Animon.

Objetivo específico b.

Evaluar el rendimiento del transporte de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay - Unidad Minera Chungar – mina Animon.

1.5. Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica desde tres perspectivas fundamentales:

Justificación Teórica

Este estudio contribuirá al cuerpo de conocimiento en ingeniería de minas al sistematizar y analizar datos teóricos y empíricos sobre los costos e indicadores de rendimiento asociados al ciclo integral de carguío y transporte. Los resultados y la metodología propuesta servirán como un referente comparativo y una base documental para futuras investigaciones académicas, así como para la toma de decisiones técnicas en empresas del sector.

Justificación Práctica

La investigación tiene una aplicación operativa directa. Mediante el análisis detallado de los indicadores de desempeño (KPIs) de la flota, se identificarán ineficiencias y cuellos de botella en el ciclo de operaciones. Esto permitirá formular propuestas concretas para optimizar los procesos, con el objetivo final de reducir los costos unitarios de acarreo y transporte en la Unidad Minera Chungar, mejorando así su competitividad operativa.

Justificación Económica

El desarrollo de esta investigación generará un modelo de evaluación que posibilitará la mejora continua de la productividad y la optimización de costos en la gestión de flota. Al identificar y controlar las variables operacionales críticas que impactan en los costos, se establecerá una metodología para incrementar la eficiencia económica de las operaciones de carguío y acarreo, traducida en una reducción sostenible de los costos operativos totales.

1.6. Limitaciones de la investigación

En el planteamiento metodológico actual, no se prevén limitaciones o contratiempos críticos que puedan impedir la ejecución del trabajo de campo o el análisis de datos, dado el acceso concedido a las instalaciones y la colaboración establecida con el personal operativo de la unidad minera. No obstante, se reconoce que

el desarrollo de la investigación podría estar sujeto a variaciones propias de la operación minera a escala industrial, tales como paradas no programadas por mantenimiento mayor, condiciones climatológicas adversas que suspendan las operaciones, o cambios en la planificación de la producción que afecten la disponibilidad de la flota en estudio.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Primer antecedente:

La propuesta de (ALARCON, 2020) titulada “EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MINERAL EN MINAS DE BLOCK CAVING MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS”, cuyo objetivo es mejorar la calidad de los modelos de simulación en el transporte de mineral al incorporar procesos operacionales en el minado subterráneo.

Como conclusiones se tuvo:

Se evaluó el impacto que genera al incorporar otros procesos y las fallas de los equipos en el minado a corto plazo y ver como inciden en la producción el transporte de mina a la planta.

El estudio se acerca más a la realidad de producción que tendría la mina, porque se le agrega tiempos de espera a los equipos lo que conlleva a una disminución del rendimiento de los equipos hasta un 7 %.

Es muy significativo realizar replicas para entender el comportamiento de las actividades y aplicar una confiabilidad de cumplimiento.

Al compara la sensibilidad de las fallas del sistema de manejo de materiales y la sensibilidad para las fallas de los equipos LHD, estas varían en menos del 1 %

Segundo antecedente

La tesis de (ESPINOZA, LOPEZ, 2023) titulada “ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE RENDIMIENTO EN EQUIPOS DE CARGUÍO PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS DE ACARREO EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO, 2023”, tiene como objetivo, la reducción de los costos de acarreo mediante el análisis de rendimiento de los equipos de carguío.

Entre sus principales conclusiones se reporta la mejora de los indicadores operativos de los equipos de carguío: el tiempo de ciclo se redujo de 0.91 a 0.93 horas, el tonelaje movilizado aumentó de 134.31 a 143.66 toneladas por hora, y el número de viajes se incrementó de 6 a 7 viajes por hora. Asimismo, se mejoraron los indicadores de disponibilidad (de 86.5% a 88.19%) y de utilización (de 65.84% a 74.66%), atribuyendo estos incrementos a una mejora en los sistemas de control de las actividades.

El estudio identificó como principales causas de las pérdidas de tiempo operativo las fallas mecánicas, la limpieza del frente, el raspado de labores, los tiempos de espera por disponibilidad de labor, la gestión de órdenes de trabajo y la falta de operadores. Consecuentemente, las mejoras propuestas se enfocaron en la disminución de fallas mecánicas, una mejor gestión de equipos y personal, y la optimización de los diseños operacionales.

Como resultado de las intervenciones, se logró incrementar el factor de llenado de los equipos de un 72% a un 80%. Este incremento permitió mejorar el rendimiento

del carguío de 10.67 a 11.86 toneladas por paso (en equipos scoop) y la carga útil de los volquetes de 42.68 a 47.43 toneladas. Adicionalmente, se optimizó el grado de fragmentación (P80), reduciéndolo de un promedio de 22.88 pulgadas al inicio del estudio a 7.49 pulgadas al finalizar. La combinación de estas mejoras permitió reducir el costo unitario de acarreo de 0.22 \$/t a 0.18 \$/t.

Tercer antecedente

La tesis de (DE LA CRUZ , 2021) titulado “OPTIMIZACION EN LA EXTRACCION DE MINERAL Y DESMONTE CON VOLQUETES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TEORIA DE COLAS EN LA ECM AMERICAN RENT A CAR – U.P. SAN CRISTOBAL YAULI LA OROYA 2021”, tiene como objetivo ver la influencia de la teoría de colas en la producción de mineral y desmonte en el transporte con volquetes.

Entre sus conclusiones principales se destaca que la implementación de la teoría de colas en la planificación de los procesos de carguío y transporte permitió incrementar la producción de los equipos de carguío en un 10%

Asimismo, el estudio reportó una reducción significativa de los costos operativos. Los costos asociados a la etapa de carguío se redujeron a 393.39 USD por día, mientras que los costos de transporte disminuyeron a 4,827.91 USD por día. Estas mejoras representaron un impacto económico positivo directo en la operación.

Cuarto antecedente

La tesis de (ROMERO, 2021) titulado “Evaluación de equipos de carguío y transporte de mineral para el cálculo óptimo del número de camiones, Minera San Cristóbal S.A.A”. cuyo objetivo fue, la determinación del número de camiones para el transporte de mineral mediante la evaluación de los equipos de carguío y transporte en la mina San Cristóbal.

Como conclusión se tuvo:

Se determinó que el número óptimo de camiones es de 19, 17 en activos y 2 como contingencia, teniendo en cuenta el tonelaje efectivo de 30 tn cada camión y la granulometría.

Los factores que inciden directamente en los costos del proceso de carguío y transporte son el ciclo de transporte de ida y vuelta de 129 minutos, la carga efectiva de carguío que en promedio es de 28.5 tn/ciclo, la velocidad de desplazamiento de los camiones los cuales son 10.5 km/hr de ida y 12.5 km/hr, los costos por llantas 40%, mantenimiento 30%, lubricantes y combustibles 20 %, personal 10 %.

Quinto antecedente

La tesis de (QUILICHE, TORRES, 2021) titulado “EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA MINA SUBTERRÁNEA-PATAZ LA-LIBERTAD-2021” su objetivo fue, el de analizar el su sistema de transporte de mineral a través de los costos y plantear el transporte más adecuado.

Como conclusión se tiene:

Se tiene dos sistemas de transporte de mineral el manual y la mecánica, en la extracción manual se produce 7.1918 tn/guardia, la producción mecánica es de 37.608 tn/guardia.

El costo que representa por tonelada extraída donde se incluye costos por mano de obra, EPP, mantenimiento, equipos, materiales llegando a 9.30 S/ por tonelada

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Carguío y transporte en minería subterránea

Carguío y transporte

El carguío y transporte constituye una de las actividades fundamentales dentro del ciclo minero, definida como el conjunto de operaciones para el manipuleo y traslado

del material fragmentado desde el frente de trabajo hasta su destino primario (stock, tolva, chancadora). Esta etapa es una de las más incidentes en la estructura del costo operativo total, debido a la gran densidad de capital y a la variabilidad de recursos (equipos, combustible, mano de obra, mantenimiento) que involucra.

Esta relevancia económica ha impulsado gran parte de las innovaciones tecnológicas en el sector, orientadas a optimizar la eficiencia, productividad y seguridad de las flotas de carguío y acarreo, dada la cantidad de sub-etapas interdependientes que componen el ciclo.

La gestión moderna del manejo de materiales (materials handling) se fundamenta en la optimización integral de los recursos para cumplir un objetivo estratégico: trasladar un volumen definido de material, con unas especificaciones de fragmentación y dilución controladas, desde un punto de origen a un punto de destino, dentro de un tiempo planificado y al menor costo unitario posible.

2.2.2. Selección de equipos

La selección técnica-económica de la flota es un proceso crítico que determina la productividad y rentabilidad de la operación. Este proceso se basa en los siguientes criterios fundamentales:

Tipo de Equipo: Determinado por el método de minería (desarrollo, producción, relleno), las dimensiones de las labores (sección, altura, radio de giro), el tipo de material (densidad, abrasividad, tamaño de fragmentación) y las condiciones geomecánicas.

Tamaño o Capacidad de la Unidad: Definido por la producción requerida (toneladas por turno), la distancia de acarreo, las pendientes y las restricciones físicas de las galerías y puntos de transferencia. Se busca el balance óptimo entre capacidad de cuchara/balde y potencia.

Número de Unidades: Calculado para alcanzar el objetivo de producción sostenida, considerando la productividad teórica de cada unidad, la disponibilidad mecánica histórica, los tiempos de ciclo y los factores de acoplamiento entre cargadores y vehículos de transporte.

Figura 1 Algunos equipos mineros



2.2.3. Selección de equipos mineros

La selección de equipos mineros es un factor determinante en el diseño y la productividad de las operaciones subterráneas, al igual que en la minería a cielo abierto. Este proceso, de naturaleza multidisciplinaria, se fundamenta en una evaluación integral que considera criterios tanto cualitativos como cuantitativos.

El proceso de selección debe analizar los siguientes requerimientos clave:

Requerimientos Técnicos: Incluyen la aplicación específica del equipo, las condiciones ambientales (temperatura, humedad, altitud), las restricciones geométricas de las labores y el estado de la infraestructura de la mina.

Requerimientos del Proceso: Se centran en la producción requerida (toneladas por turno/año), la disponibilidad y los esquemas de mantenimiento preventivo y correctivo necesarios para sostenerla.

Requerimientos Económicos: Comprenden el análisis de la inversión inicial, el tiempo de retorno de la misma (ROI), el costo de operación total expresado en USD/hora, y su alineación con los principios de inversión de capital de la empresa.

Requerimientos Sociales: Involucran el nivel de educación y capacitación disponible para los operadores y mantenedores, así como las prácticas laborales y sindicales vigentes.

Requerimientos Ambientales: Se refieren al cumplimiento de los estándares locales e internacionales sobre emisiones, ruido y otros impactos de la maquinaria.

Contexto Estratégico: Se debe definir si el equipo es para un proyecto nuevo, para reemplazar flota obsoleta o para complementar la existente, entendiendo su impacto en el proceso global de la operación.

Herramientas de Cálculo para la Selección

Para el soporte decisorio se emplean diversas herramientas, que van desde juicios especializados hasta modelos financieros avanzados:

Análisis Práctico: Sentido común y opinión de expertos basada en experiencia.

Modelado Operativo: Simulaciones discretas de eventos y cálculos de rendimiento teórico del ciclo.

Evaluación Financiera: Cálculo del Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y análisis de costo marginal para comparar alternativas de inversión y operación.

2.2.4. Información básica requerida para el análisis y selección de equipo

Información básica

La selección técnica de equipos requiere una base de información integral y estructurada. Los datos fundamentales se agrupan en las siguientes categorías:

I. Información General de la Operación:

Identificación: Nombre de la mina, propietario, ubicación geográfica.

Recursos Humanos: Número total de trabajadores y distribución por especialidad.

Condiciones Ambientales: Altitud sobre el nivel del mar, rango de temperatura (mínima y máxima), humedad, calidad del aire y otras condiciones específicas del entorno subterráneo.

II. Características del Yacimiento:

Cuerpo Mineralizado: Geometría (largo, ancho, potencia), morfología y orientación.

Reservas: Volumen y tonelaje de mineral económico y del agente diluyente.

Propiedades Geomecánicas de la Roca: Resistencia a la compresión, dureza, peso específico in situ y esponjamiento, así como las condiciones estructurales y calidad del macizo rocoso.

III. Parámetros del Método de Explotación:

Método de Minería: Definición del método de explotación subterránea aplicado.

Producción: Meta de producción anual desglosada por método, sistema de turnos y productividad objetivo (toneladas por hombre-guardia).

Unidades de Producción: Dimensiones estándar de los tajeos o frentes y el número de unidades activas por año.

IV. Especificaciones de las Operaciones Unitarias:

Perforación de Producción: Diámetro de broca, longitud de taladro, perforación específica (m/ton), diseño de malla, metros totales perforados anualmente, y porcentajes estimados de recuperación y dilución.

Desarrollos: Horizontales: Sección transversal y longitud total anual requerida.

Verticales: Dimensiones (diámetro, altura) y requerimiento anual de chimeneas o raises.

Transporte Interno: Dimensiones y capacidad de los piques de traspaso, y geometría de las rampas (pendiente, ancho, radio de curvatura).

V. Flota Actual: Inventario y Estado: Especificaciones técnicas, antigüedad, estado de mantenimiento y disponibilidad histórica de la flota de carguío, transporte y equipos auxiliares existentes

VI. Flota Existente y Métodos para Mover Materiales

Flota Actual: Inventario y Estado: Especificaciones técnicas, antigüedad, estado de mantenimiento y disponibilidad histórica de la flota de carguío, transporte y equipos auxiliares existentes.

Métodos para Mover Materiales: La selección del método de manejo de materiales está condicionada por la geometría del yacimiento, el método de explotación y las distancias de acarreo. Los sistemas se clasifican de la siguiente manera:

Traspaso Gravitational: Utilizado para transferir material entre niveles mediante piques o chimeneas por gravedad.

Sistema de Carguío: Carguío Discontinuo (LHD - Load-Haul-Dump): Equipo versátil que carga, transporta a corta distancia y descarga.

Carguío Continuo (Cargador Continuo): Equipo que carga material fragmentado de manera constante sobre un sistema de transporte continuo, como una faja.

Sistema de Transporte Discontinuo: Camión de Bajo Perfil Articulado (LPT - Low Profile Truck): Diseñado para galerías de altura restringida.

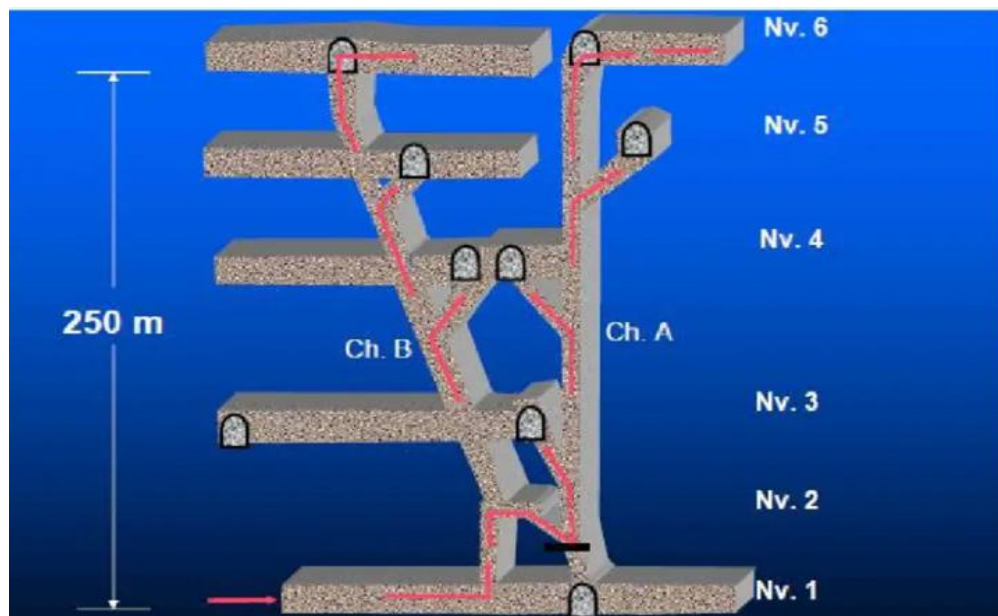
Camión Subterráneo Convencional (Rígido o Articulado): Para distancias medias a largas en labores de mayor sección.

Sistema de Transporte Continuo:

Faja Transportadora: Sistema de alta capacidad para transporte horizontal o inclinado a larga distancia.

Tren o Ferrocarril: Sistema de gran capacidad para transporte masivo en galerías principales.

Figura 2 *Traspaso gravitacional*



Parrillas

La parrilla constituye un dispositivo de clasificación primaria instalado en la boca de una chimenea de traspaso o de producción. Su función principal es retener el material fragmentado de tamaño superior al deseado (oversize), el cual podría provocar bloqueos o interrupciones del flujo gravitacional dentro de la chimenea.

Su diseño se basa en una estructura compuesta por barras metálicas paralelas, separadas a una distancia específica (apertura de la parrilla). Esta configuración permite el paso del material de tamaño adecuado, garantizando un flujo libre y continuo hacia

niveles inferiores, mientras que el material sobretamaño es retenido en la superficie de la parrilla. El material retenido debe ser posteriormente manipulado, ya sea mediante su retiro para un reprocesamiento o mediante su reducción de tamaño in situ (rompimiento con martillo hidráulico o mediante voladura secundaria) directamente sobre la parrilla, antes de ser incorporado al flujo principal.

Figura 3 Selección del material en la parrilla

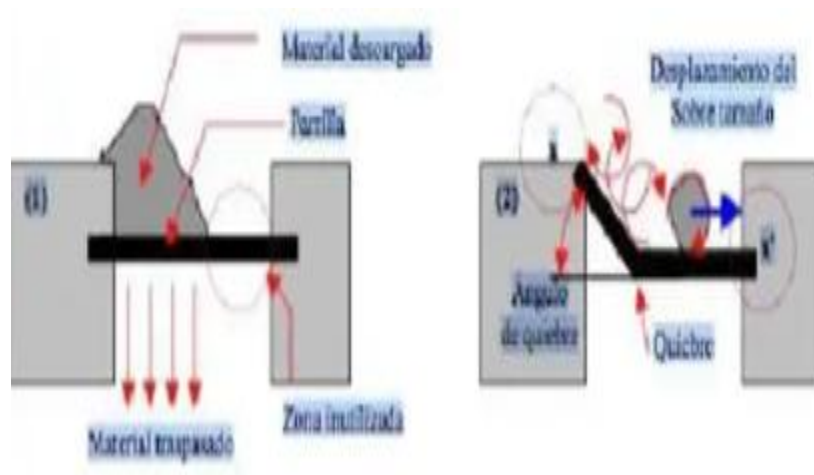


Figura 4 Chute o tolva en minería de rieles



Figura 5 *Transporte con locomotoras*



2.2.5. Sistema de carguío

En minería subterránea, la operación de carguío consiste en retirar el material fragmentado (mineral o desmonte) producto de la voladura desde el frente de trabajo y transferirlo a los equipos de transporte primario. Esta etapa es crítica dentro del ciclo de producción, dado que involucra una alta densidad de capital en equipos especializados y determina en gran medida la eficiencia global y los costos operativos unitarios de la mina.

La función específica del sistema de carguío es cargar y transportar el material desde la base del tajeo o frente de desarrollo hacia los puntos de transferencia designados (ej., piques, tolvas). La selección del sistema adecuado está definida, entre otros factores, por la granulometría resultante del material fragmentado, la cual condiciona el método de manipulación y el diseño de los puntos de recepción.

Históricamente, los sistemas de carguío han evolucionado en paralelo con los avances tecnológicos, transitando desde métodos manuales y semimecanizados hacia la actual automatización y teleoperación de equipos, buscando maximizar la productividad, seguridad y confiabilidad de la operación.

Figura 6 *Tajeo o frente de extracción*



Equipos de carguío

De la evolución tecnológica en minería subterránea surge el equipo LHD (Load-Haul-Dump), concebido bajo el principio integrado de cargar, transportar y descargar. Este diseño se consolidó como la solución más eficaz para equilibrar los requisitos de rendimiento, capacidad de carga y maniobrabilidad en espacios confinados. Su principal ventaja operativa radica en minimizar la infraestructura de desarrollo requerida, reduciendo significativamente los costos asociados a la construcción de accesos y galerías de gran sección en operaciones subterráneas.

El Scoop (LHD):

Es un vehículo articulado, autopropulsado y de bajo perfil, específicamente diseñado para la carga, el acarreo a corta distancia y la descarga de material fragmentado en condiciones de espacio restringido, propias de las labores mineras subterráneas. Su configuración permite operar en frentes de trabajo de menor sección transversal, optimizando el uso del espacio disponible.

Figura 7 Scoop de 6 yd³ de capacidad



Tenemos el LHD (Load, Haul y Dump)

Este equipo está diseñado para ejecutar de manera integrada y secuencial las etapas de carguío, transporte y descarga. Su capacidad de acarreo eficiente se extiende a distancias medias, típicamente entre 250 y 300 metros, lo que lo posiciona como una solución versátil para una variedad de configuraciones de mina. Al consolidar estas tres funciones en un solo ciclo operativo continuo, el LHD logra reducir el tiempo total de manejo de material, traduciéndose directamente en un mayor rendimiento operativo y una mejor productividad para la tarea.

Figura 8 Equipo LHD R1300G – CAT



Su versatilidad le permite descargar en diferentes receptores:

- Camiones de bajo perfil (LPT).
- Camiones subterráneos convencionales.
- Piques o tolvas de traspaso.

Su ventaja comparativa frente a equipos convencionales radica en su perfil bajo y menor radio de giro, lo que permite operar en secciones de galería más reducidas.

Figura 9 LHD (*Load, Haul y Dump*)

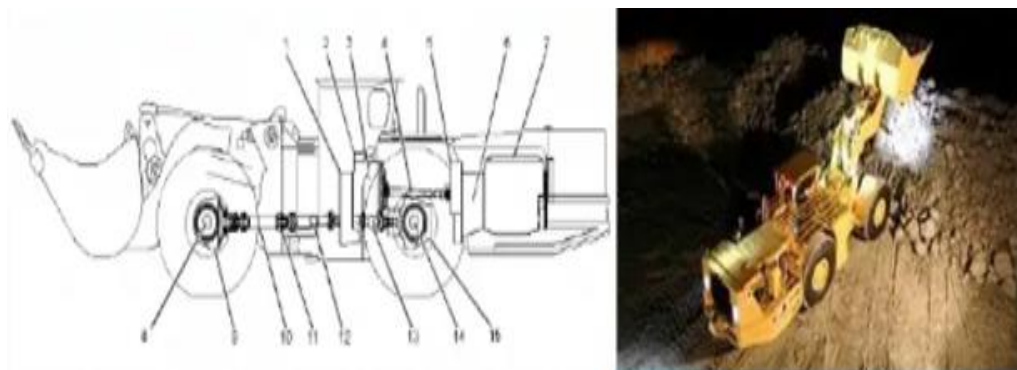


Estructuralmente, el equipo se compone de tres módulos principales:

Tren Delantero:

- Balde o cuchara.
- Brazos o plumas.
- Cilindros hidráulicos de levante y volteo.
- Ruedas delanteras y eje de transmisión delantero.

Figura 10 Componentes de equipo LHD



Tren Posterior:

- Motor (diésel o eléctrico).
- Transmisión (convertidor de torque/caja de cambios).

- Cabina del operador (ubicada a la izquierda).
- Ruedas traseras y eje de transmisión.
- Sistemas auxiliares (iluminación, protección contra incendios, enganche de remolque).

Articulación Central:

Uno o dos cilindros hidráulicos de dirección.

Rótula o junta articulada que permite el giro entre los trenes.

Productividad: La productividad del LHD es una función de múltiples variables, entre las que destacan:

- Condiciones del frente: Iluminación, estado de la pista de rodado, granulometría del material, espacio para maniobras en las áreas de carga y descarga.
- Condiciones ambientales: Calidad de la ventilación, altitud sobre el nivel del mar (que afecta la potencia del motor) y temperatura ambiente (se estima una pérdida de aproximadamente 1% de potencia por cada 2°C sobre los 20°C).
- Control y Gestión: Los parámetros clave para el control del desempeño del equipo son:
 - Disponibilidad Mecánica: Meta superior al 85%.
 - Utilización: Tiempo efectivo de trabajo en relación al tiempo total programado.

Observamos en la siguiente tabla:

Tabla 1 *Utilización del equipo*

% Utilización	Rango
Menor a 50%	Malo
Entre 50% y 60%	Aceptable
Mayor a 60%	Ideal

Rendimientos

Determinado por la siguiente relación:

Tabla 2 Rendimiento del equipo LHD

$$\begin{aligned} \text{Nº de Ciclos por hora} &= NC = 60 / (T_1 + T_2 + T_3 + T_4) \text{ [ciclos / hora]} \\ \text{Rendimiento horario} &= NC \times C_b \times F_{II} \times d / (1 + e) \text{ [toneladas / hora]} \end{aligned}$$

Donde:

C_b : Capacidad del Balde del LHD (m^3).
 d : Densidad in situ de la roca (ton/m^3)
 e : Esponjamiento.
 F_{II} : Factor de llenado del balde del LHD.
 D_i : Distancia de viaje del LHD cargado hacia el punto de descarga (metros).
 V_c : Velocidad del LHD cargado hacia el punto de descarga (metros por hora).
 D_v : Distancia de viaje del LHD vacío o hacia la frente de trabajo (metros).
 V_v : Velocidad del LHD vacío (metros por hora).
 T_1 : Tiempo de carga del LHD (minutos).
 T_2 : Tiempo de descarga del LHD (minutos).
 T_3 : Tiempo de viaje total del LHD (minutos) = $(D_i / V_c + D_v / V_v) \times 60$
 T_4 : Tiempo de maniobras del LHD (minutos).

Rendimiento LHD – Camión

Determinado por la siguiente relación:

Tabla 3 Rendimiento LHD – Camión

$$\text{Tiempo de llenado o carga del Camión} = T_{C1} = NL \times (T_1 + T_2 + T_3 + T_4)$$

Donde

C_b : Capacidad del Balde del LHD (m^3).
 d : Densidad in situ (ton/m^3)
 e : Esponjamiento.
 F_{II} : Factor de llenado del balde.
 C_{LHD} : Capacidad del LHD (toneladas) = $C_b \times F_{II} \times d / (1 + e)$
 C_C : Capacidad del camión (toneladas).
 NL : Número de ciclos para llenar el camión = C_C / C_{LHD}
 NP : Número de paladas para llenar el camión = ENTERO (C_C / C_{LHD})
 F_{IIC} : Factor de llenado de la tolva del camión = $NP \times C_{LHD} / C_C$
 T_1 : Tiempo de carga del LHD (minutos).
 T_2 : Tiempo de descarga del LHD (minutos).
 T_3 : Tiempo de viaje total del LHD (minutos) = $(D_i / V_c + D_v / V_v) \times 60$
 T_4 : Tiempo de maniobras del LHD (minutos).

Rendimiento de Camión

Dado por la relación:

Tabla 4 Rendimiento de Camión

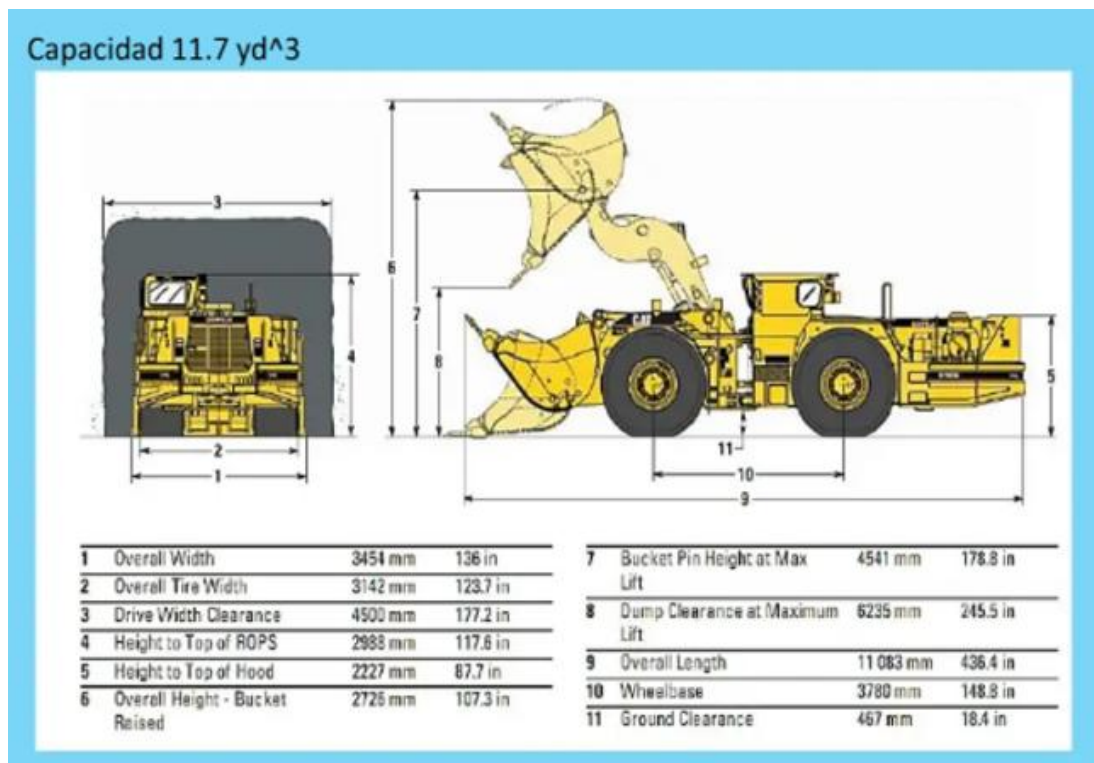
$$\text{Rendimiento del Camión} = R_c = NP \times C_{LHD} \times 60 / (T_{C1} + T_{C2} + T_{C3} + T_{C4})$$

Donde:

- D_{ci} : Distancia de viaje del camión cargado hacia el punto de descarga (kilómetros).
- V_{cc} : Velocidad del camión cargado hacia el punto de descarga (kilómetros por hora).
- D_{cv} : Distancia de viaje del camión vacío o hacia la frente de trabajo (kilómetros).
- V_{cc} : Velocidad del camión vacío (kilómetros por hora).
- T_{C1} : Tiempo de carga del camión (minutos).
- T_{C2} : Tiempo de descarga del camión (minutos).
- T_{C3} : Tiempo de viaje total del camión (minutos) = $(D_{ci} / V_{cc} + D_{cv} / V_{cv}) \times 60$
- T_{C4} : Tiempo de maniobras del camión (minutos).

Especificaciones: mostramos las especificaciones técnicas del HDL R2900G CAT.

Tabla 5 Especificaciones técnicas del LHD R2900G CAT



2.2.6. Transporte

El material fragmentado por la voladura debe ser trasladado hacia algún lugar y dependiendo de las características del material involucrado debe disponerse de un equipo de transporte que permita esta tarea.

El camión de bajo perfil es el adecuado para transportar material a través de las vías subterráneas.

Si la distancia de transporte excede los límites económicos la faja transportadora es una opción razonable.

Camiones convencionales

Estos equipos, si bien no son de uso exclusivamente minero, se adaptan para operaciones subterráneas con secciones amplias. Su principal limitación es la maniobrabilidad, debido a su chasis rígido que restringe el giro en espacios confinados. Para distancias de acarreo mayores, se emplean configuraciones articuladas que mejoran la capacidad de maniobra.

CAMIONES VOLVO:

Se fabrican en un rango de capacidades de carga, típicamente entre 4 y 30 toneladas, equipados con motores diésel que desarrollan potencias entre 65 y 250 HP. Su diseño prioriza la confiabilidad y la adaptación a entornos restrictivos.

Figura 11 *Equipo de transporte volvo*



DUMPERS:

Este equipo ha sido específicamente diseñado para el transporte de alto tonelaje en minería subterránea, optimizando el costo por tonelada transportada. Se caracterizan por una construcción robusta, un perfil bajo que permite operar en galerías de altura limitada, y un diseño que facilita el mantenimiento, contribuyendo a una prolongada vida útil.

Figura 12 Equipo de acarreo Dámper capacidad 20 ton (Fuente: Atlas Copco)



2.2.7. Costos operacionales y de capital

Mostramos los costos asociados a equipos HDL, a camiones, a fajas transportadoras, a skips y un comparativos de costos.

Costos asociados a LHD

Tabla 6 Costos asociados a LHD

Resultados CAT R3000H			
Consumibles	Combustible	[L/hr]	30
		[US\$/L]	0,500
		[MUS\$/mes/LHD]	0,010
	Lubricantes	[MUS\$/mes/flota]	0,068
		[US\$/hr]	8
		[MUS\$/mes/LHD]	0,005
	Neumáticos	[MUS\$/mes/flota]	0,036
		Duración [hr]	4500
		[US\$]	1200
Mano de obra	[MUS\$/mes]	0,021	
Mantenimiento y reparación	[MUS\$/mes]	0,018	
Costo Operacional LHD	[MUS\$/mes]	0,073	
	[US\$/ton]	0,215	
Costo Capital LHD	Costo LHD [MUS\$]	0,193	
	Flota LHD [MUS\$]	0,625	
		4,375	

Costos asociados a camiones

Tabla 7 Costos asociados a camiones

Resultados CAT AD60			
Consumibles	Combustible	[L/hr]	95
		[US\$/L]	0,500
		[MUS\$/mes/LHD]	0,029
		[MUS\$/mes/flota]	0,203
	Lubricantes	[US\$/hr]	15
		[MUS\$/mes/LHD]	0,009
		[MUS\$/mes/flota]	0,064
	Neumáticos	Duración [hr]	5000
		[US\$]	3000
		[MUS\$/mes]	0,030
Mano de obra	[MUS\$/mes]	0,030	
Mantenimiento y reparación	[MUS\$/mes]	0,073	
Costo Operacional Camión	[MUS\$/mes]	0,388	
	[US\$/ton]	0,347	
Costo Capital Camión	Costo Camión [MUS\$]	1,700	
	Flota Camión [MUS\$]	11,900	

Costos asociados a fajas transportadoras

Tabla 8 Costos asociados a fajas transportadoras

Costo asociado a fajas Transportadoras	
Costos de capital	
Costo correa transportadora [MUS\$]	4,2
Costo Motores [MUS\$]	0,35
Costo preparación de terreno [MUS\$]	0,075
Costo eléctrico [MUS\$]	0,63
Costo Total Capital [MUS\$]	5,255
Costos operación y mantención	
Costo supervisores [US\$/mes]	6000
Costo energía [US\$/h]	60
Costo energía [US\$/mes]	43200
Costo mantención [US\$/mes]	157650
Costo Total Operación [US\$/mes]	206850
Costo Total Operación [US\$/ton]	0,17

Costos asociados a Skips

Tabla 9 Costos asociados a Skips

Costos de Skip	
Costo Capital 1 Skip [MUS\$]	7,9
Costo Capital 2 Skip [MUS\$]	15,8
Costo energético 2 Skips [MUS\$ / mes]	0,261
Costo operacional 2 skips [US\$ / ton]	0,242

Comparativo de costos

Tabla 10 Comparativo de costos

Comparativo de Costos			
Costos Operacionales [US\$/ton]		Costos de Capital [MUS\$]	
LHD	0,193	LHD	4,375
Camiones	0,347	Camiones	11,900
fajas Transportadoras	0,170	Fajas Transportadoras	5,255
Skips	0,242	Skips	15,800
TOTAL	0,953	TOTAL	37,33

2.3. Definición de términos básicos

Acarreo o Transporte.

En el contexto de las operaciones mineras subterráneas, el acarreo o transporte se define como la etapa del ciclo de producción en la cual el material fragmentado (mineral o desmonte) es desplazado desde el punto de carguío hasta su destino final o

intermedio. Esta actividad involucra equipos especializados que, tras ser cargados, movilizan la masa mineralizada hacia lugares específicos como depósitos de mineral, botaderos de estéril, puntos de traspaso o tolvas de alimentación a planta, siendo un factor crítico en la eficiencia global del proceso (CIJ&RC, 2018).

Carguío.

Operación fundamental que consiste en la carga efectiva del material fragmentado, ya sea mineral económico, desmonte o material de relleno, desde el frente de voladura o desde una pila de acopio directamente a la unidad de transporte. Esta actividad marca el inicio del ciclo de manejo de materiales y su eficiencia incide directamente en la productividad del acarreo (CIJ&RC, 2018).

Capacidad

Se refiere al volumen geométrico (m³) o al peso máximo (toneladas) de material que un equipo, como una cuchara de un LHD o la caja de un volquete, puede contener y manipular en un solo ciclo de trabajo. Es un parámetro de diseño fundamental para la selección de flota y el cálculo de productividad teórica.

Costo de Posesión

Representa los costos fijos anuales asociados a la propiedad del equipo minero, los cuales se generan independientemente de que la máquina esté operativa o no. Estos costos incluyen principalmente la depreciación financiera, los seguros, los impuestos de carácter patrimonial y los gastos de almacenaje o custodia, constituyendo una parte significativa del costo horario total.

Depreciación

Es el proceso contable y financiero mediante el cual se distribuye el valor de adquisición de un activo capitalizable a lo largo de su vida útil estimada. Este

reconocimiento refleja la pérdida de valor del equipo debido al desgaste físico por operación, la obsolescencia tecnológica y el paso del tiempo.

Disponibilidad

Indicador clave de mantenimiento que expresa, en porcentaje, la proporción de tiempo en que un equipo se encuentra técnicamente apto para operar dentro de un horario programado. Se calcula considerando las horas disponibles entre las horas totales, deduciendo los tiempos perdidos por fallas mecánicas y reparaciones correctivas.

Eficiencia

Parámetro que mide el desempeño real de un equipo en comparación con su potencial ideal. Se calcula como el porcentaje que representa la producción real (ton/h o m³/h) alcanzada en campo, frente a la producción teórica máxima definida por las especificaciones del fabricante bajo condiciones óptimas.

Esponjamiento

Fenómeno físico que consiste en el aumento porcentual del volumen que experimenta un material rocoso al ser extraído y fragmentado respecto a su estado original in-situ. Este factor es crucial para convertir volúmenes in-situ a volúmenes esponjados en el diseño de equipos de transporte y en la planificación de capacidades.

KPI.

Son métricas cuantificables, de carácter financiero u operativo, seleccionadas estratégicamente para monitorear y evaluar el nivel de desempeño de procesos, equipos o áreas específicas. Su propósito es medir el progreso hacia los objetivos críticos definidos en la planificación estratégica de la organización, proporcionando una base para la toma de decisiones (Huarocc, 2014).

Producción

En minería, se define como la cantidad total de material, expresada en toneladas métricas para el mineral y en metros cúbicos bancos o esponjados para el estéril, que es extraída y manipulada durante un período determinado. La unidad de medida estándar para la planificación y reporte corporativo es generalmente la producción anual.

Productividad.

Es una medida de eficiencia económica y operativa que relaciona la cantidad de producto obtenido (output) con la cantidad de recursos insumidos (input) para generarlo. En el ámbito de operaciones mineras, sirve para evaluar y comparar el rendimiento de la mano de obra, los equipos y los procesos, expresándose comúnmente en unidades como toneladas por hombre-hora o metros cúbicos por equipo-hora (Apaza, 2017).

Tasa o ratio de producción

Es la velocidad a la que se ejecuta una actividad productiva, cuantificada como la cantidad de material producido por unidad de tiempo. Es un indicador fundamental para la programación diaria y se expresa en diversas escalas, como la producción horaria, por turno de trabajo o producción diaria.

Utilización

Indicador operativo que mide el grado de uso del equipo durante el tiempo en que se encuentra disponible mecánicamente. Se expresa como el porcentaje del tiempo disponible en el cual la máquina está efectivamente realizando trabajo productivo, excluyendo las demoras operativas dentro del turno.

Vida Útil

Período de tiempo estimado, o el total de horas de operación acumuladas, durante el cual un equipo o componente puede funcionar de manera rentable y segura, cumpliendo con los estándares de desempeño y confiabilidad para los que fue diseñado, antes de que los costos de reparación y mantenimiento excedan su valor económico remanente.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Al evaluar los procesos de carguío y transporte de relaves es factible y viable mejorar la producción en estos procesos, en Volcán Compañía Minera – Unidad Chungar.

2.4.2. Hipótesis específicas

Hipótesis específica a

Al evaluar el proceso de carguío de relaves es factible y viable mejorar la producción en este proceso, en Volcán Compañía Minera – Unidad Chungar.

Hipótesis específica b

Al evaluar el proceso de transporte de relaves es factible y viable mejorar la producción en este proceso, en Volcán Compañía Minera – Unidad Chungar.

2.5. Identificación de variables

Variables para la hipótesis general

Variable independiente

Proceso de carguío y transporte

Variables para la hipótesis específicas

Mejora de la producción

Variables para la hipótesis específica a

Variable independiente

Proceso de carguío

Variables para la hipótesis específicas

Mejora de la producción

Variables para la hipótesis específica b

Variable independiente

Proceso de transporte

Variables para la hipótesis específicas

Mejora de la producción

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 11 Operacionalización de variables e indicadores

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INDICADORES				
VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENCION	INDICADORES
<p><i>Identificación de variables</i></p> <p><i>Variables para la hipótesis general</i></p> <p><i>Variable independiente</i></p> <p><i>Proceso de carguío y transporte</i></p> <p><i>Variables para la hipótesis específicas</i></p> <p><i>Mejora de la producción</i></p> <p><i>Variables para la hipótesis específica a</i></p> <p><i>Variable independiente</i></p> <p><i>Proceso de carguío</i></p> <p><i>Variables para la hipótesis específicas</i></p> <p><i>Mejora de la producción</i></p> <p><i>Variables para la hipótesis específica b</i></p> <p><i>Variable independiente</i></p> <p><i>Proceso de transporte</i></p> <p><i>Variables para la hipótesis específicas</i></p> <p><i>Mejora de la producción</i></p>	<p>Carguío. En la etapa de Movimiento de tierras el carguío es la actividad que consiste en la carga de material (orgánico, inadecuado u otro tipo de suelo) desde la pila de material hacia los equipos de acarreo. (CIJ&RC, 2018).</p> <p>Acarreo o Transporte. En la etapa de movimiento de tierras el acarreo es la actividad, en la cual los equipos de acarreo después de ser cargados llevan el material al depósito de material orgánico (DMO) o al depósito de material inadecuado (DMI), dependiendo si es suelo orgánico o inadecuado. (CIJ&RC, 2018).</p> <p>Producción Es el volumen o peso de material a ser manejado en una operación específica. - Mineral en unidades de peso - Estéril o desmonte en unidades de volumen - las unidades son generalmente por año</p>	<p>En la investigación sobre evaluación de rendimiento de carguío y transporte de relave para mejorar la producción Volcán Empresa Minera – Unidad Chungar, veremos los procesos de carguío, transporte y producción</p>	<p>-Registro de tiempos -Equipos de carguío -Equipo de transporte -Utilización de equipos -Rendimiento de equipos -Productividad</p>	<p>-Horas/semana - N° de equipos -N° de equipos -% -tn/hr.</p>

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación se enmarca dentro del tipo aplicada, dado que su propósito fundamental es evaluar los procesos operativos específicos de carguío y transporte de relaves en un contexto real, con el fin de generar conocimiento directamente utilizable para diagnosticar ineficiencias y proponer soluciones factibles que mejoren la producción en la Unidad Chungar de Volcán Empresa Minera (BAENA , 2017). Su enfoque está orientado a la resolución de un problema práctico y a la optimización de procesos productivos concretos.

3.2. Nivel de investigación

El estudio se desarrollará a un nivel descriptivo, ya que su objetivo central es medir, caracterizar y describir de manera sistemática y precisa el comportamiento de los indicadores de rendimiento de la flota (carguío y transporte) antes y después de la implementación de mejoras. Este nivel permite especificar propiedades, características y perfiles relevantes de las variables en estudio, estableciendo un diagnóstico claro del

estado actual y del impacto de las intervenciones. (HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, 2014)

3.3. Métodos de investigación

El proceso se regirá por el método científico, el cual proporciona el marco lógico y sistemático para la observación, la formulación de hipótesis, la recolección empírica de datos, el análisis y la obtención de conclusiones. Como método específico, se empleará el método inductivo, el cual permitirá partir de la observación y análisis de casos y datos particulares (rendimiento de equipos individuales, tiempos de ciclo específicos) para inferir conclusiones y generalizaciones aplicables al sistema global de carguío y transporte de la unidad minera. (BERNAL, 2010) .

3.4. Diseño de investigación

Se adoptará un diseño no experimental de tipo transeccional descriptivo. Este diseño es el apropiado ya que la investigación se centrará en observar, medir y analizar las variables de estudio (rendimiento, utilización, costos) en su contexto natural, sin la manipulación o control deliberado de dichas variables por parte del investigador. El estudio se limitará a recopilar información de la situación existente y a medir los cambios ocurridos tras intervenciones operativas planificadas por la empresa, sin asignar grupos de control ni alterar las condiciones normales de operación. (SANCHEZ, REYES, MEJIA, 2018)

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población de estudio está constituida por el sistema integral de carguío y transporte de relaves y desmonte operado por la contratista ECOM en las labores de la mina Animon, perteneciente a Volcán Compañía Minera – Unidad Chungar. Esto

engloba todos los procesos, equipos, ciclos operativos y recursos involucrados en dicha actividad.

3.5.2. Muestra

La muestra será no probabilística y por conveniencia, estando conformada por los equipos en operación continua durante el período de estudio. Esta se compone de 10 volquetes de transporte y 2 equipos de carguío (LHD/Scoop) asignados de manera permanente a las labores de manejo de la mezcla de relaves y desmonte en la unidad minera mencionada.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

- Observación Directa Estructurada: Para el registro sistemático de las actividades y tiempos del ciclo operativo en el lugar de los hechos.
- Análisis Documental: Para la revisión de reportes de producción, registros de mantenimiento, planes de minado y datos históricos de la operación.
- Estudio de Tiempos y Métodos: Aplicación de cronometraje para determinar los tiempos estándar de cada elemento del ciclo de carguío y transporte.

3.6.2. Instrumentos

- Guía de Observación Estructurada: Lista de verificación para registrar eventos, condiciones y demoras operativas.
- Fichas de Registro de Datos: Formularios diseñados para capturar información cuantitativa de producción, ciclos y disponibilidad.
- Documentos Oficiales: Reportes de producción, órdenes de trabajo, fichas técnicas de equipos.
- Plantilla de Cronometraje (Estudio de Tiempos): Hoja de ruta para la medición y descomposición secuencial de los tiempos de ciclo.

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

Los instrumentos serán validados por prueba piloto y juicio de expertos, hecho que se corrobora con la validación de los instrumentos

Los instrumentos fueron validados por prueba piloto y juicio de expertos, hecho que dio como consecuencia la validación de los instrumentos: N° 1- Guía de aplicación de las redes conceptuales y 2 – Guía del análisis documental. La mencionada propuesta arroja un promedio de 87 %. Según la opinión de los expertos tiene validez, en su contenido, criterio y construcción, dando un promedio de valoración aceptable, en coherencia con los siguientes indicadores valorados (Ver CUADRO B).

CRITERIOS DE VALORACIÓN DE INSTRUMENTOS

	<u>Expertos</u>			<u>Escala de Valoración</u>
	1	2	3	
1. Claridad		9	9	9 Muy Adecuado
2. Objetividad		9	9	9 Muy Adecuado
3. Actualidad		9	9	9 Muy Adecuado
4. Organización		9	9	9 Muy Adecuado
5. Suficiencia		9	8	9 Muy Adecuado
6. Tamaño		9	8	9 Muy Adecuado
7. Intencionalidad		9	9	9 Muy Adecuado
8. Consistencia		9	8	9 Muy Adecuado
9. Coherencia		9	8	9 Muy Adecuado
10. Metodología		9	8	9 Muy Adecuado
Sumatoria		90	85	90 Muy Adecuado
Promedio Total		88 %		Muy Adecuado

Además, la confiabilidad de los instrumentos se ha analizado

estadísticamente con coeficiente de alfa de Cronbach, cuyos resultados son los siguientes.

NIVELES DE CONFIABILIDAD APLICADOS A LOS INSTRUMENTOS

No confiable	-1 a 0	
Baja confiabilidad	0,0001 a 0,490	
Moderada confiabilidad	0,5 a 0,75	0,755
Fuerte confiabilidad	0,76 a 0,89	
Alta confiabilidad	0,9 a 1	

Formula usada:

$$\alpha = \left[\frac{k}{k - 1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right],$$

Dónde:

α = Alfa de Cronbach K = Número de ítems

S^2 = Varianza de cada ítem S_t^2 = Varianza total

Respuesta: $\alpha = 0,755$

Podemos aseverar en base a los resultados obtenidos que los instrumentos aplicados en la investigación de *moderada confiabilidad*.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos brutos recopilados en campo serán organizados, depurados y tabulados utilizando software de hoja de cálculo (Microsoft Excel), lo que permitirá la generación de bases de datos ordenadas. Posteriormente, se realizará un análisis estadístico descriptivo (cálculo de promedios, medianas, desviaciones estándar, porcentajes) para resumir y caracterizar la información. La integración de resultados, la elaboración de gráficos de tendencia y la redacción del informe final se apoyarán en procesadores de texto (Microsoft Word). El análisis contrastará los datos obtenidos antes y después de las mejoras implementadas, evaluando su significancia práctica.

3.9. Tratamiento estadístico

Se ha aplicado el paquete estadístico SPSS versión 24 para el procesamiento de datos y luego para la construcción de tablas de frecuencia, cálculo de α = Alfa de Cronbach y análisis factorial exploratorio que es muy útil para ordenar la secuencia lógica de los reactivos o ítems.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Durante todas las etapas de la investigación se actuará con rigurosidad científica, honestidad intelectual y responsabilidad profesional. Se garantizará la veracidad en la recolección y reporte de datos, evitando cualquier alteración o sesgo. Se mantendrá la confidencialidad de la información operativa sensible de la empresa. La investigación se conducirá con pleno respeto a los protocolos de seguridad de la mina y a las normativas laborales, buscando en todo momento que el estudio contribuya al desarrollo técnico y a la mejora de las prácticas operativas en el sector.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Consideraciones generales

Ubicación de la Mina

La mina Animon se localiza en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco. Geomorfológicamente, se emplaza en el flanco oriental de la cordillera Occidental de los Andes peruanos. Sus coordenadas UTM son 8'780,728 N y 344,654 E, y se desarrolla a una altitud promedio de 4,600 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.), característica que la sitúa en un entorno de operación de alta montaña con implicaciones específicas en el desempeño de equipos y personal.

Accesibilidad

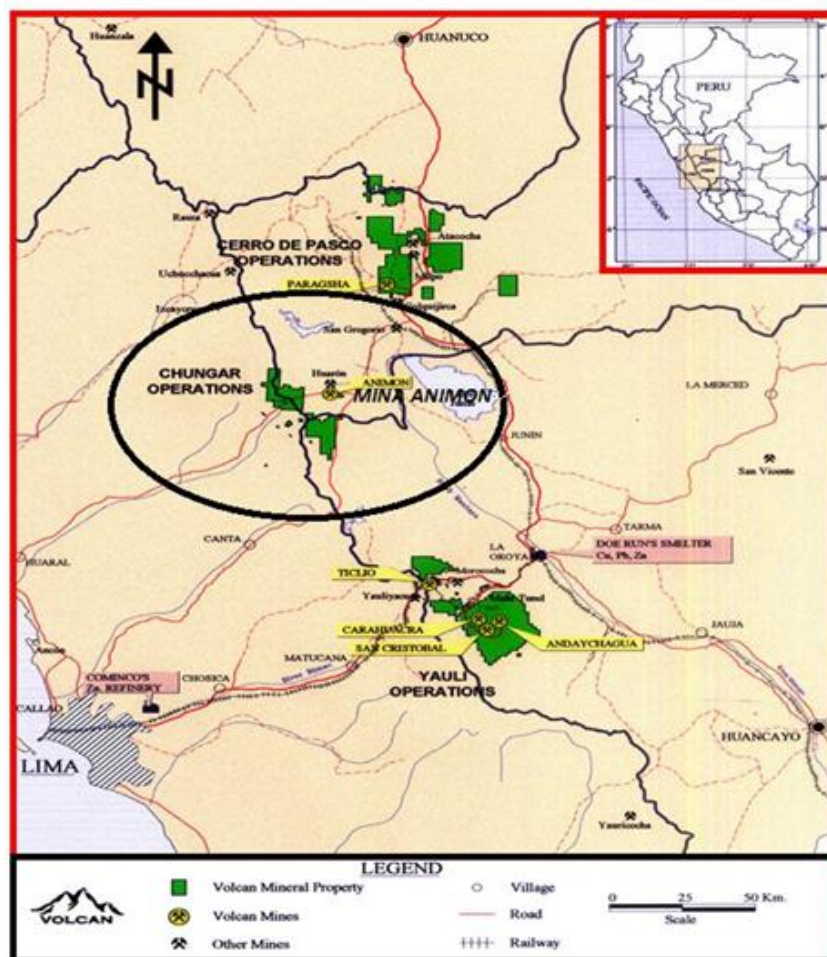
La principal vía de acceso a la unidad minera parte desde la ciudad de Lima, siguiendo la Carretera Central hasta La Oroya, para luego dirigirse al cruce de Villa de Pasco, continuar hacia Huayllay y finalmente arribar a la mina Animon, cubriendo una distancia total aproximada de 328 kilómetros. Adicionalmente, existen dos rutas alternativas que ofrecen conexión con la capital: la ruta Lima – Canta – Mina Animon,

con una extensión de 219 kilómetros, y la ruta Lima – Huaral – Mina Animon, la cual tiene una longitud de 225 kilómetros. Esta red de conexiones viables es fundamental para el abastecimiento logístico, el transporte de insumos y la movilidad del personal.

Tabla 12 *Accesibilidad a la mina Animón*

RUTA	DISTANCIA	VÍA
Lima – Oroya - Villa Pasco - Huayllay – mina Animón	328 kilómetros	Asfaltada (principal)
Lima – Canta – mina Animón	219 kilómetros	Afirmada (alterna)
Lima – Huaral – mina Animón	225 kilómetros	Asfaltado (alterna)

Figura 13 *Ubicación de la mina Animon*



4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

A continuación, presentamos los resultados de la aplicación de los instrumentos

4.2.1. Disposición de relave seco en Compañía Minera Volcan_Unidad Chungar

Planta concentradora

La Planta Concentradora de la Unidad Minera Chungar, propiedad de Volcan Compañía Minera S.A.A., está situada en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco, Perú. Esta instalación industrial tiene como función principal el procesamiento metalúrgico del mineral extraído de las operaciones subterráneas de la mina Animon, mediante procesos de conminución, flotación diferencial y espesamiento para la obtención de concentrados comercializables de zinc, plomo y cobre. La planta está diseñada con una capacidad nominal de tratamiento de 5,500 toneladas métricas de mineral por día, constituyendo el núcleo del proceso de agregación de valor en la unidad productiva.

Planta de Filtrado

En la mina Chungar, el relave seco se refiere a un proceso donde el material residual de la actividad minera, conocido como relave, se trata para reducir su contenido de agua a menos del 20%. Este material, similar a una pulpa densa, se filtra y se mezcla con desmontes para su disposición final en capas compactadas, buscando mayor seguridad y eficiencia en el almacenamiento.

El proceso de disposición de relave seco en Chungar implica:

1. Filtración:

El relave que normalmente tiene un alto contenido de agua, se somete a un proceso de filtración para reducir su humedad. Durante este proceso el relave seco es dispuesto mediante fajas hacia el Patio de Transferencia (PT) para acumulación y posterior transporte con volquetes hacia Plataforma de Apilamiento con el

objetivo de disponerlo en camellones y secarlo hasta obtener humedad adecuada para continuar con el siguiente proceso. Cabe mencionar que en épocas de invierno no se lleva acabo el proceso de disposición para secado por las constantes lluvias y nieve, es por ello que se apila y se opta por traslado de lodo, desmante lo cual corresponde a procesos secundarios.

Figura 14 *Dos fajas (104 y 105) de disposición de relave seco*



Figura 15 *Carguío a volquetes para traslado hacia plataforma de apilonamiento*



Mezcla con desmonte

El relave filtrado se mezcla con desmontes (material estéril de la mina) en una proporción específica 3x1, posterior a la obtención de la humedad óptima y venteado necesario, el relave es mezclado con desmonte con granulometría adecuada. Cabe mencionar que es crucial el traslado hacia P. Apilamiento más aún en épocas de invierno por la estabilidad del terreno para carguío y descargué, y con ello se genera tiempos muertos y demoras operativas que repercuten en el ciclo de traslado. Para realizar este proceso se dispone desmonte desde dos puntos específicos Frente de Balanza y Dique Sur, los cuales son trasladados por nuestra flota.

Figura 16 Vista de la Presa de relaves



Figura 17 Vista de plataforma de apilonamiento, patio de transferencia



Disposición en capas:

La mezcla se coloca en capas delgadas y se compacta para asegurar una mayor estabilidad y reducir el riesgo de deslizamientos. Posterior a la obtención de la mezcla (relave seco + desmonte con granulometría óptima), ésta es trasladada por volquetes hacia Codisposición para disposición final mediante la conformación de capas según diseño de plano y aprobación técnica. También, el traslado de mezcla es crucial debido a que el descarguío enfrenta desafíos como la interacción con equipos de línea amarilla, talud, factores climatológicos que merman el tiempo del ciclado óptimo.

Figura 18 *Corte y empuje de mezcla para conformación de capas*



Figura 19 *Adecuación de la mezcla para conformación de capas*



Figura 20 *Traslado de material con volquetes*



Reducción de humedad

El objetivo es lograr una humedad baja, generalmente por debajo del 20%, para facilitar el almacenamiento seguro. Finalmente conformado las capas corresponde a la liberación técnica.

En resumen, el traslado con volquetes busca estrategia para transformar los residuos mineros en un material más estable y seguro para su disposición, aprovechando la rentabilidad y seguridad durante el proceso. También enfrenta desafíos descritos en cada una de las etapas mencionadas, además, la disposición de mezcla es aprovechada durante el verano dando lugar a traslado de lodo en épocas de invierno.

Figura 21 Plano de acceso temporal planta

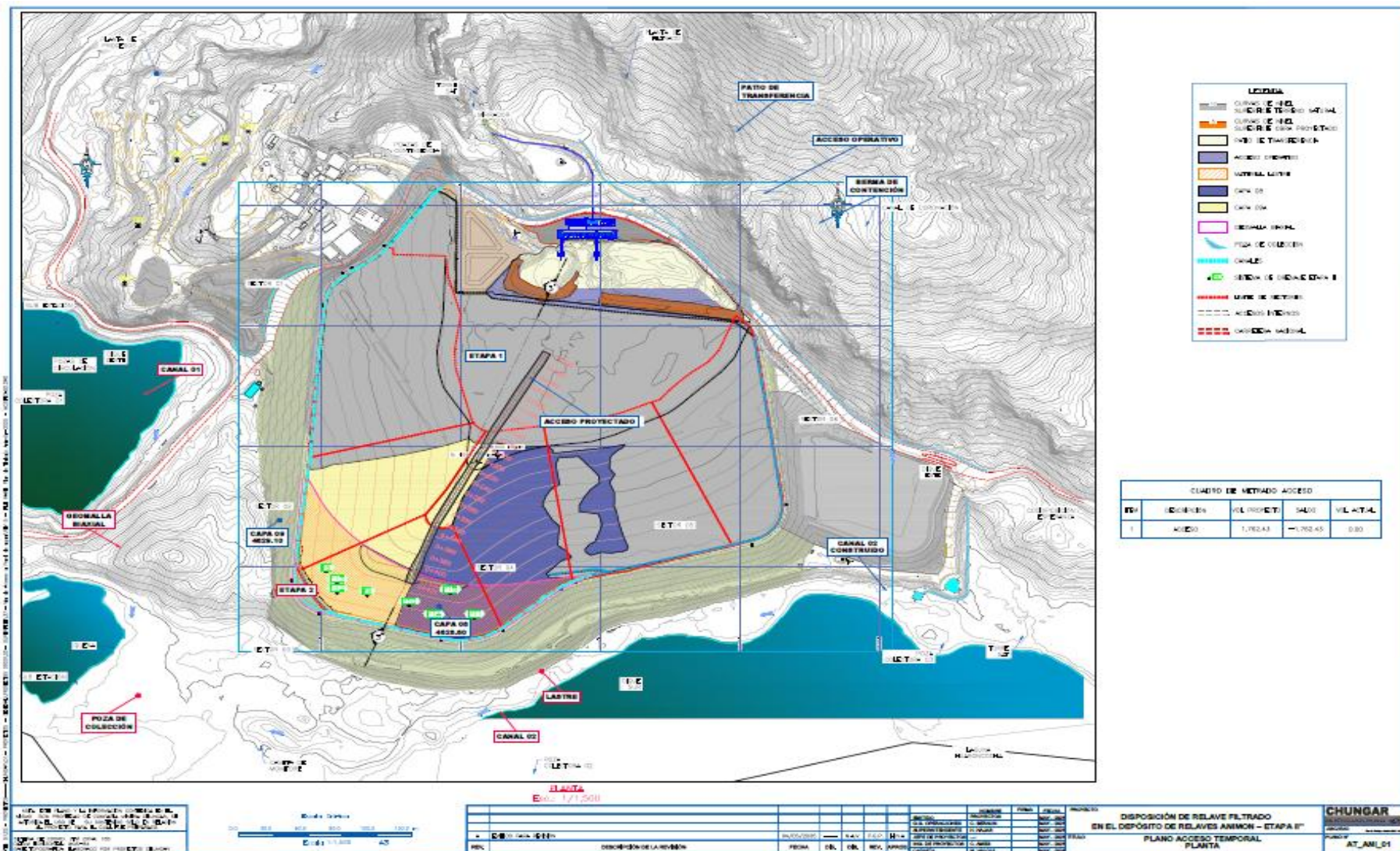
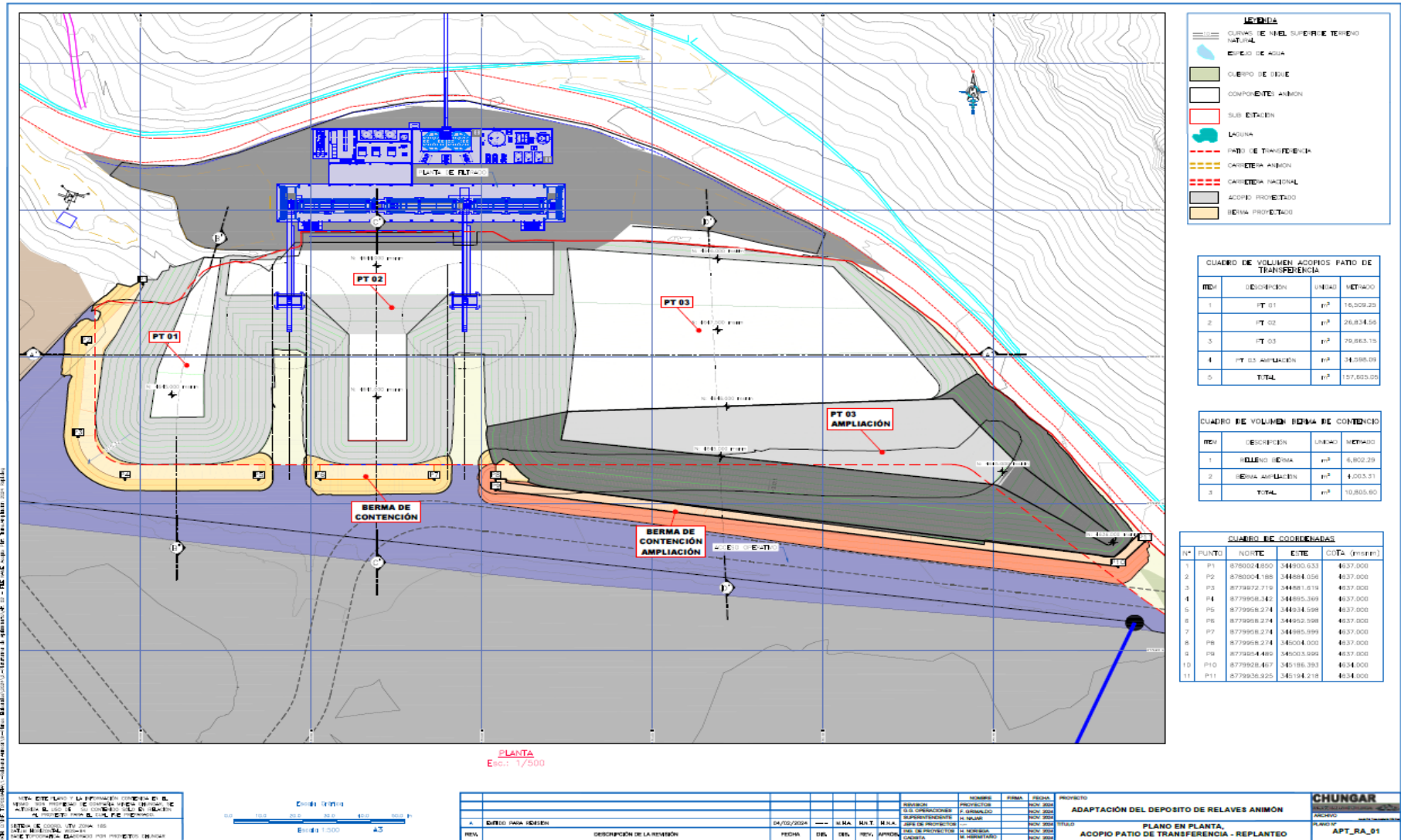


Figura 22 Plano de acopio patio de transferencia







4.2.2. Sistema de carguío y acarreo

Carguío

En el contexto específico de la construcción y operación de la cancha de relaves secos, la operación de carguío consiste en la carga del material (torta de relave filtrado y/o desmonte de cobertura) desde los puntos de generación o acopio temporal, para ser transferido a las unidades de transporte. El objetivo es conducir dicho material hacia las zonas de patio de transferencia y, finalmente, a la plataforma de apilamiento en la cancha de disposición final. Este proceso requiere la ejecución coordinada de una serie de funciones logísticas y de control que aseguren la continuidad, seguridad y eficiencia del flujo de materiales. El ciclo básico de carguío se descompone en cuatro fases principales: posición y carga del material en el equipo, giro y acarreo corto hacia el punto de vertido, descarga controlada sobre la unidad de transporte o en el área de transferencia, y retorno en vacío al punto de origen para reiniciar el ciclo.

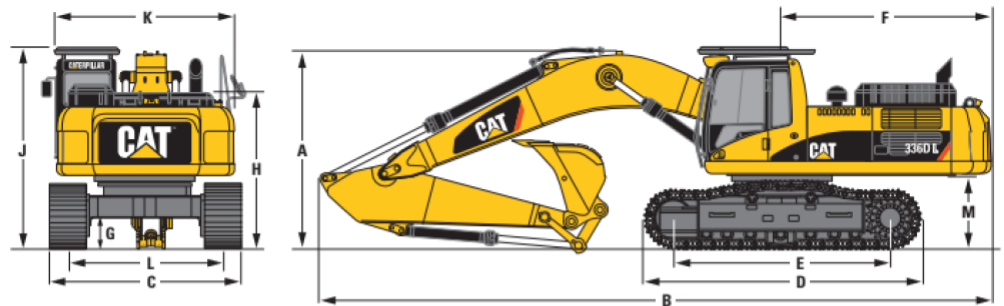
Figura 23 *Ciclo de carguío*

CICLO DE CARGUÍO			
IMAGEN	CICLO	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
	CARGA DE CUCHARÓN	Llenado de material para descarga en el volquete	Inicia con el llenado del cucharón del material a cargar.
	ROTACIÓN CON CARGA	Giro para la descarga de material	Inicia cuando el brazo se levanta y empieza a girar con el cucharón cargado de material.
	DESCARGA DE CUCHARÓN	Cargando el volquete	Inicia cuando empieza a descargar el material en la tolva del volquete.
	ROTACIÓN SIN CARGA	Retorno a cargar el material	Inicia cuando el brazo empieza a girar con el cucharón sin material.

Excavadora CAT 336 dl

Dimensiones

Figura 24 Dimensiones de la excavadora CAT 336



mm		mm		mm	
A	Altura de embarque (con cucharón)	B	Longitud de embarque	C	Anchura de las cadenas
	Pluma de alcance		Pluma de alcance		336D L (zapatas de 700 mm)
	Balancín de 2.800 mm		Balancín de 2.800 mm		336D LN (zapatas de 600 mm)
	Balancín de 3.200 mm		Balancín de 3.200 mm	D	Longitud de la cadena
	Balancín de 3.900 mm		Balancín de 3.900 mm	E	Longitud al centro de rodillos
	Pluma de excavación de alta producción		Pluma de excavación de alta producción	F	Radio de giro de cola
	Balancín de 2.150 mm		Balancín de 2.150 mm	G	Altura libre sobre el suelo
	Balancín de 2.550 mm		Balancín de 2.550 mm	H	Altura de la superestructura
				J	Altura de la cabina
				K	Anchura de la superestructura
				L	Ancho de vía
					336D L
					336D Ln
				M	Altura libre en el contrapeso

Acarreo

El acarreo consiste en el transporte primario de los materiales ya cargados (relave seco y desmonte) desde los puntos de carguío o patios de transferencia hasta su destino final en la plataforma de la cancha de relaves. Esta fase es crítica dentro del ciclo de operaciones mineras, junto con el carguío, debido a su profunda repercusión en la economía del proyecto. El transporte de materiales representa típicamente entre el 40% y el 70% de los costos operativos totales del movimiento de tierras y, a menudo, constituye también la porción más significativa de la inversión de capital en equipos principales de la mina. La eficiencia en esta etapa es, por tanto, un determinante clave de la rentabilidad global de la operación de disposición.

Para la ejecución del acarreo en el movimiento de tierras de la cancha de relaves, se emplea una flota de volquetes de alto tonelaje. De acuerdo con las especificaciones técnicas y los requerimientos de la operación, predominantemente se utilizan marcas

como Mercedes-Benz y Volvo, las cuales son seleccionadas por su capacidad de carga, rendimiento en altitud, confiabilidad y adaptación a las condiciones topográficas y de camino de la zona de trabajo.

Figura 25 Ciclo de acarreo









CICLO DE ACARREO			
IMAGEN	CICLO	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
	VIAJANDO VACIO	Viajando vacío hacia la excavadora	Comienza cuando el volquete viaja hacia la excavadora como resultado de la asignación.
	ESPERANDO	Esperando en la excavadora	Comienza cuando el volquete se detiene en el área de carga.
	CUADRANDO	Cuadrando en la excavadora	Comienza cuando el volquete retrocede dentro del área de carga.
	CARGANDO	Cargando en la excavadora	Comienza después del primer pase o cuando la velocidad alcanza a ser 0 km/h dentro del radio de la excavadora.
	ACARREANDO	Acarreando desde la excavadora hacia la descarga	Comienza cuando la excavadora da la señal de fin de carga, y el volquete sale del área de carga.
	COLA	Cola en la descarga	Comienza cuando el volquete se detiene al inicio del área de la descarga
	RETROCEDIENDO	Retrocediendo en la descarga	Comienza cuando el volquete retrocede dentro del área de la descarga.
	DESCARGANDO	Descargando en descarga	Comienza una vez detenido, después de haber retrocedido dentro del área de descarga y levantar la Tolva.

Tabla 13 Especificaciones Técnicas de volquete Mercedes – Benz Actros 3344 K

Especificaciones Técnicas	
Modelo	Actros 3344K 6x4 Euro 3 Cabina S
Marca	Mercedes-Benz
Capacidad de Tolva (m3)	15
Dimensiones del perfil(chasis)	270 mm x 70 mm/ espesor: 9,5 mm
Tipo de Cabina	Frontal - Simple - Techo normal
Velocidad máxima (km/h)	101
Pendientes máximos (movimiento/ arranque): con 33.000 kg (%)	68,3 / 49,3
Tracción	6x4
Motor	11,946 cc
Potencia	435 cv
Peso	41,000 kg
Distancia entre ejes	3,600 mm
Capacidad de carga	31,490 kg
Largo Carrozable	5,295 mm
Capacidad Delantera	9,000 kg
Capacidad Trasera	16,000 kg

Tabla 14 Especificaciones Técnicas de volquete volvo FMX 440/480 6x4R

Especificaciones Técnicas	
Modelo	FMX 440/480 6x4R
Marca	Volvo
Capacidad de Tolva (m3)	15
Tipo de Cabina	Frontal - Simple - Techo normal
Dimensiones del perfil(chasis)	300 mm x 90 mm/ espesor: 9,5 mm
Tracción	6x4
Potencia de motor	440/480cv
Peso	41,000 kg
Distancia entre ejes	3,700 mm
Capacidad de carga	31,490 kg
Capacidad de tanque	420 lts 6x4R

4.2.3. Dimensionamiento de la flota de carguío y acarreo

Para la ejecución de los trabajos de movimiento de tierras asociados al proyecto de la cancha de relaves, se dimensionó y movilizó una flota de equipos especializada, categorizada convencionalmente en línea amarilla y línea blanca. Esta clasificación responde a la naturaleza y función de los equipos dentro de la obra.

La flota de línea amarilla, destinada principalmente a las actividades de preparación del terreno, conformación y compactación, incluye equipos montados sobre ruedas y sobre orugas. En la primera categoría se encuentran la retroexcavadora, la motoniveladora y el rodillo compactador. En la categoría de equipos sobre orugas, se desplegaron excavadoras de los modelos 336 y 320, así como tractores de cadenas (bulldozers) D8 y D6, esenciales para el desbroce, la excavación masiva y la nivelación de grandes volúmenes.

La flota de línea blanca, dedicada fundamentalmente al transporte y soporte logístico, comprende equipos montados sobre neumáticos. Este segmento incluye los volquetes de acarreo principal, con capacidades de caja de 15 y 20 metros cúbicos, que

constituyen la columna vertebral del transporte de material. Asimismo, se incorporaron unidades de apoyo logístico como cisternas para el suministro de combustibles (con capacidad de 2000 galones) y de agua (con capacidad de 5000 galones), junto con camiones de plataforma baja (cama baja) para el transporte de maquinaria pesada y componentes de gran tamaño.

Complementariamente, para garantizar la movilidad del personal de supervisión, operación y mantenimiento a lo largo del extenso frente de trabajo, se dispuso de una flota de equipos livianos compuesta por camionetas tipo pick-up, combis y buses coaster. Este dimensionamiento integral de la flota buscó asegurar un balance entre la capacidad de producción requerida, la flexibilidad operativa y la eficiencia en la logística de apoyo, elementos críticos para el avance sostenido del proyecto.

Se cuenta con los equipos que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 15 Equipos utilizados en el proyecto relavera

ITEM	EQUIPOS	UNIDADES
1	Excavadora 336 dl	5
2	Excavadora 320	2
3	Tractor oruga D8T	2
4	Tractor oruga D6T	2
5	Retroexcavadora	2
6	Motoniveladora	1
7	Rodillo de compactación	1
8	Volquete de 15 m3 Y 29 m3	16
9	Cisterna de agua de 5000 galo	1
10	Cisterna de combustible de 1500 galones	1
11	Camión grúa	1
12	Cama baja	1
13	Camioneta Toyota 4x4	3
14	Combi Toyota	1
15	Coaster	1
16	Luminaria Terex 400	5
17	Vibroapisonador	1
18	Generador de corriente diésel	2

Equipos utilizados para el carguío y acarreo

Excavadoras

Se está empleando 5 excavadoras

Tabla 16 *Equipos de carguío*

ITEM	PLACA	EQUIPO	CAPACIDAD	AREA	CODIGO
1		EXCAVADORA		PROYECTOS	
2		EXCAVADORA		PROYECTOS	
3		EXCAVADORA		PROYECTOS	
4		EXCAVADORA		PROYECTOS	
5		EXCAVADORA		PROYECTOS	

Volquetes

Para la ejecución del acarreo o transporte primario del material, ya sea torta de relave filtrado o desmonte de cobertura, se dimensionó y empleó una flota de 16 volquetes. La capacidad de carga de estas unidades se estandarizó principalmente en 15 y 20 metros cúbicos (m³), dimensiones seleccionadas en función de la distancia de acarreo, la productividad requerida y las condiciones de los caminos de acceso a la cancha.

La función operativa de estos equipos consiste en transportar el material desde los diversos frentes de trabajo o patios de transferencia hasta la zona de disposición final en el depósito de relaves secos. La flota, cuya composición y cantidad promedio en operación se detalla en la Tabla 13 del estudio, está integrada por unidades de las marcas Volvo y Mercedes-Benz, reconocidas por su robustez, confiabilidad y adaptación a las exigentes condiciones de operación en altitud y terrenos difíciles, propias del proyecto.

Tabla 17 Numero de volquetes

ITEM	PLACA	EQUIPO	CAPACIDAD	AREA	CODIGO
1	BUN 740	VOLQUETE	20	PROYECTOS	32
2	AZN708	VOLQUETE	15	PROYECTOS	15
3	AXH798	VOLQUETE	15	PROYECTOS	13
4	BBH884	VOLQUETE	15	PROYECTOS	16
5	AZR734	VOLQUETE	15	PROYECTOS	17
6	BUR855	VOLQUETE	15	PROYECTOS	31
7	AWH714	VOLQUETE	20	PROYECTOS	33
8	BFX747	VOLQUETE	15	PROYECTOS	35
9	BJU900	VOLQUETE	20	PROYECTOS	11
10	BMW725	VOLQUETE	15	PROYECTOS	36
11	CEA876	VOLQUETE	15	PROYECTOS	38
12	TOZ930	VOLQUETE	20	PROYECTOS	39
13	CEA753	VOLQUETE	15	PROYECTOS	37
14	BCH816	VOLQUETE	15	PROYECTOS	40
15	TOT838	VOLQUETE	15	PROYECTOS	42
16	CEG800	VOLQUETE	15	PROYECTOS	41

4.2.4. Evaluación de la utilización de los equipos de carguío y acarreo en movimiento de relaves

Se realizó una evaluación del indicador de Utilización para la flota de carguío y acarreo asignada al movimiento de relaves, dado que este parámetro guarda una relación directa y crítica con la eficiencia operativa. Un nivel de utilización óptimo minimiza las horas de demoras no productivas, incrementa el tiempo efectivo de trabajo de los equipos y, en consecuencia, se traduce en un aumento directo de la producción volumétrica por turno. Por el contrario, una baja utilización refleja la existencia de tiempos improductivos significativos que impactan negativamente en la productividad y elevan los costos unitarios.

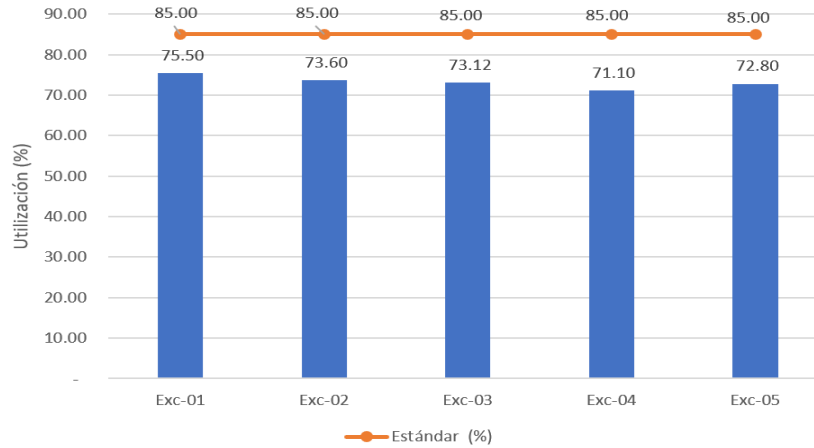
La evaluación inicial, correspondiente a la primera etapa o línea de base, se llevó a cabo durante los meses de junio, julio y agosto. Los resultados obtenidos en este período evidenciaron valores de utilización por debajo de los estándares industriales, lo cual fue interpretado como un reflejo directo de la ausencia de controles operativos sistemáticos, deficiencias en la planificación de corto plazo y la presencia recurrente de demoras logísticas y organizativas que impedían el aprovechamiento máximo de la disponibilidad mecánica de la flota.

Excavadoras

Tabla 18 *Promedio de % de utilización mensual de las excavadoras en los meses de junio, julio y agosto del 2024*

Equipo	Hrs. Trab. (HT) mensual	Hrs. Disp. (HD) Mensual	Disp. Mec. (%)	Utilización (%)	Estándar (%)
Exc-01	365.40	481.56	96.80	75.50	85.00%
Exc-02	420.78	560.50	96.20	73.60	85.00%
Exc-03	414.55	562.22	98.90	73.12	85.00%
Exc-04	335.54	461.32	97.92	71.10	85.00%
Exc-05	420.50	585.65	99.40	72.80	85.00%
Promedio	391.354	530.25	97.84	73.22	85.00%

Figura 26 Promedio de % de utilización mensual de las excavadoras en los meses de junio, julio y agosto del 2024



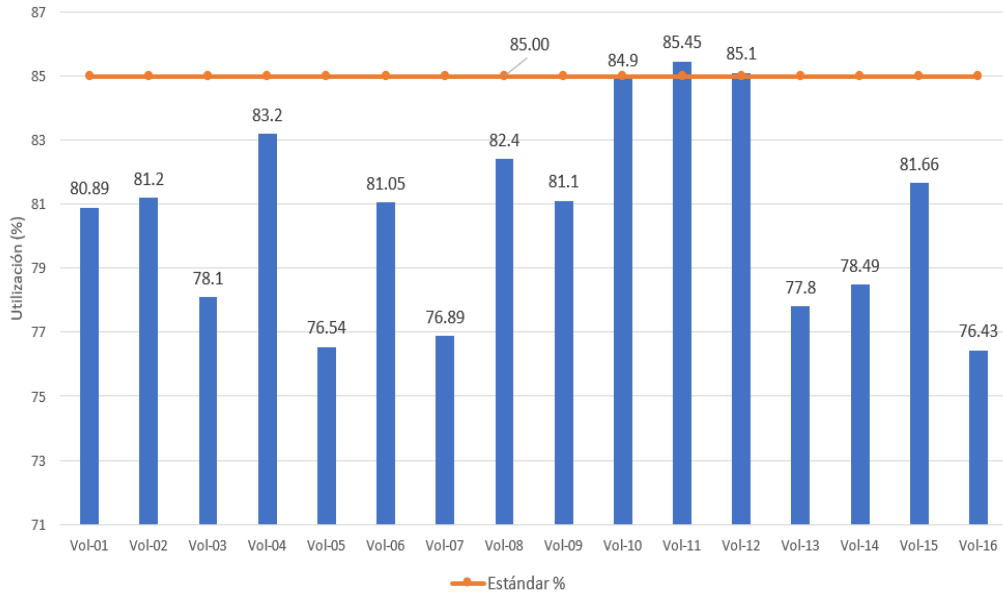
En la tabla y figura se puede observar la utilización en promedio mensual de la excavadora es de 73.22 % lo cual no cumple con el estándar establecido (85%), lo que impide el cumplimiento de lo programado

Volquetes

Tabla 19 Promedio de % de utilización mensual de volquetes en los meses de junio, julio y agosto del 2024

Equipo	Hrs. Trab. (HT) mensual	Hrs. Disp. (HD) Mensual	Disp. Mec. (%)	Utilización (%)	Estándar %
Vol-01	340.60	518.40	95.62	80.89	85.00%
Vol-02	320.38	525.50	93.10	81.20	85.00%
Vol-03	379.50	529.10	95.40	78.10	85.00%
Vol-04	370.25	561.70	96.73	83.20	85.00%
Vol-05	268.45	530.48	90.448	76.54	85.00%
Vol-06	382.10	535.14	93.57	81.05	85.00%
Vol-07	299.84	497.80	91.90	76.89	85.00%
Vol-08	388.47	534.58	97.28	82.40	85.00%
Vol-09	395.20	496.76	93.25	81.10	85.00%
Vol-10	296.89	536.18	97.26	84.90	85.00%
Vol-11	315.69	568.56	89.90	85.45	85.00%
Vol-12	375.86	539.69	96.69	85.10	85.00%
Vol-13	299.90	459.50	89.70	77.80	85.00%
Vol-14	2.98.70	480.40	94.00	78.49	85.00%
Vol-15	365.19	556.90	96.79	81.66	85.00%
Vol-16	380.38	511.08	89.52	76.43	85.00%
Promedio			88.57	80.68	85.00%

Figura 27 Promedio de % de utilización mensual de los volquetes en los meses de junio, julio y agosto del 2024



El análisis de los datos consignados en la Tabla 19 y su representación gráfica en la Figura 27, correspondiente a la primera etapa de evaluación, revela una discrepancia operacional significativa. El promedio mensual de utilización de los volquetes se situó en 80.68%, valor que se encuentra por debajo del estándar programado establecido en 85%. Esta brecha indica una operación de acarreo ineficiente, caracterizada por tiempos improductivos y demoras que reducen el tiempo efectivo de trabajo. Para corregir esta desviación y optimizar el ciclo de transporte, es imperativa la implementación inmediata de controles operativos rigurosos y un sistema de monitoreo en tiempo real que permita identificar y eliminar las causas raíz de las demoras.

Paralelamente, se observa que el promedio de disponibilidad mecánica de la flota de volquetes alcanzó un 88.57%, el cual tampoco logra cumplir con la meta presupuestada por la empresa, fijada en 95%. Este déficit en la disponibilidad sugiere la existencia de fallas mecánicas recurrentes, tiempos de reparación extendidos o

deficiencias en el programa de mantenimiento preventivo, factores que limitan la capacidad operativa del parque automotor y exacerbaban los problemas de baja utilización. La convergencia de ambos indicadores por debajo de sus respectivas metas evidencia la necesidad de una intervención integral que aborde simultáneamente la gestión de mantenimiento y la eficiencia operativa para revertir los índices de rendimiento actuales.

4.2.5. Medición de la data

El instrumento principal para la sistematización y cuantificación de los tiempos productivos e improductivos en las operaciones de carguío y acarreo dentro del proyecto de la cancha de relaves son los partes o reportes diarios de producción. Estos documentos constituyen el registro formal y oficial de la ejecución de las labores en cada turno y son la fuente primaria de data para el análisis de productividad.

Estos partes de producción permiten documentar de manera integral cada jornada de trabajo, registrando específicamente: la actividad o tarea realizada, las horas efectivas de trabajo del equipo dentro de las 10 horas programadas por turno, el código de identificación del equipo utilizado, el volumen de combustible consumido, los materiales e insumos empleados, las lecturas del horómetro al inicio y al final del turno, el nombre completo del operador asignado y, de crucial importancia para esta investigación, la identificación, clasificación y duración de las demoras o tiempos improductivos que afectaron el ciclo operativo.

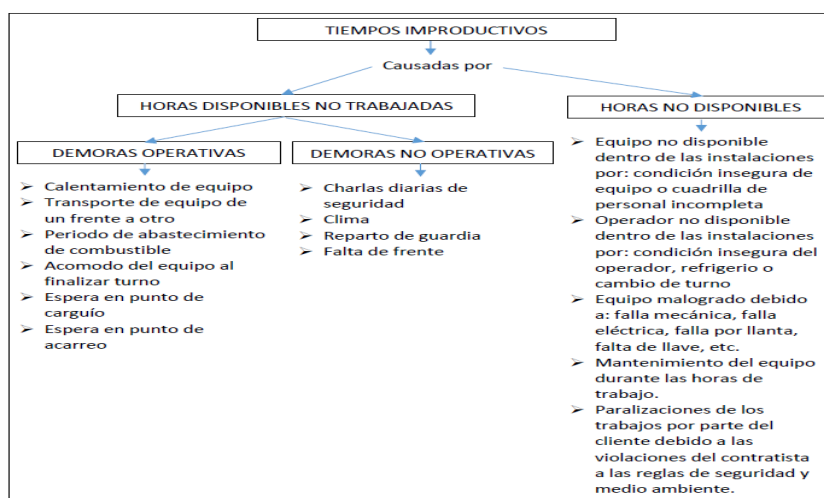
La Tabla a continuación presenta el formato estandarizado utilizado para el reporte diario de equipos en el proyecto.

4.2.6. Tiempos improductivos

Una vez completada la recolección sistemática de datos en campo y su ingreso correspondiente en la base de datos consolidada, se procedió a la fase de análisis. Esta etapa consistió en el procesamiento, clasificación y evaluación de todas las demoras o tiempos improductivos registrados que afectaron directamente las operaciones de carguío y acarreo durante el período de estudio. El objetivo fue cuantificar su impacto, identificar sus causas raíz y establecer su contribución porcentual al tiempo total no productivo.

Para el análisis, la investigación consideró y clasificó los tiempos improductivos basándose en la taxonomía operativa estándar. Las principales categorías de demora identificadas y analizadas, cuya distribución se presenta de manera detallada en la Figura 28, incluyen: demoras por mantenimiento correctivo, demoras operativas (espera por otro equipo, limpieza de frente), demoras logísticas (espera por combustible, suministros) y demoras organizativas (falta de instrucción, cambios en la planificación). Este desglose permite priorizar las intervenciones correctivas en las áreas de mayor impacto.

Figura 28 Distribución de los tiempos improductivos



4.2.7. Tratamiento y análisis de datos

El análisis se formuló con base en la toma de datos de los tiempos improductivos registrados durante las operaciones de carguío y acarreo en la etapa de movimiento de relaves, correspondiente a un período de seis meses. Las actividades específicas consideradas para el análisis fueron:

- Carguío de relave filtrado mediante excavadora.
- Carguío de desmonte mediante excavadora.
- Acarreo o transporte de relave con volquetes.
- Acarreo de desmonte con volquetes.

Estas constituyen las principales actividades de movimiento de tierras del proyecto. Su análisis, centrado en la identificación y cuantificación de los tiempos improductivos, sirvió como base para la formulación de propuestas de mejora y protocolos de control destinados a incrementar la productividad global del sistema.

Tabla 22 *Distribución de horas totales y tiempos improductivos*

Horas Totales					
Horas Programadas de labor diaria					Horas No Programadas
Horas Disponibles			Horas de Mantenimiento		
Horas Trabajadas efectivas	Horas Disponibles No Trabajadas		Horas de Mantenimiento Programado (Planeado)	Horas de Mantenimiento Correctivo (No Planeado)	
Operando Efectivo (Motor Encendido)	Demoras Operativas (Motor Encendido)	Demoras No Operativas (Motor apagado)			

Para el análisis se utilizó la distribución diaria de tiempos detallada en la Tabla 22, la cual alimentó la base de datos principal. Las variables y relaciones fundamentales definidas son:

- Tiempo Total (TT): 24 horas del día calendario.

- Horas Programadas (HP): Horas de labor diaria planificada para operación (10 horas/turno). El proyecto opera con 2 turnos/día.
- Horas No Programadas (HNP): Horas no destinadas a actividades productivas (ej., tiempo administrativo).
- Horas Disponibles (HD): Horas en las que el equipo está en condiciones mecánicas para trabajar.
- Horas de Mantenimiento (HMTTO): Horas en que el equipo está fuera de operación por mantenimiento planificado o correctivo.
- Horas Trabajadas Efectivas (HT): Horas en las que el equipo opera con motor encendido realizando trabajo productivo.
- Horas Disponibles No Trabajadas (HDNT): Horas en las que el equipo está disponible pero inactivo, debido a demoras operativas (motor encendido) o no operativas (motor apagado).
- Demoras Operativas (DO): Tiempo improductivo con equipo disponible y motor encendido.
- Demoras No Operativas (DNO): Tiempo improductivo con equipo disponible y motor apagado.

De lo anterior se deducen las siguientes relaciones clave:

- $HP = \text{Horas Programadas de Labor Diaria.}$
- $HD = HT + HDNT$ (Horas Disponibles = Horas Trabajadas + Horas Disponibles No Trabajadas).
- $HDNT = HP - HT - HMTTO$ (Horas Disponibles No Trabajadas = Horas Programadas - Horas Trabajadas - Horas de Mantenimiento).

Resultados de la Implementación de Mejoras

Tras el análisis de los tiempos improductivos en las actividades descritas, se implementaron propuestas de mejora específicas. Los resultados de esta intervención se reflejaron mediante tablas y diagramas de Pareto, utilizados para priorizar las

demoras más significativas en carguío y acarreo, visualizando su contribución porcentual al tiempo total perdido.

Finalmente, los indicadores clave de desempeño —utilización, rendimiento (m^3/h), productividad y producción volumétrica— se presentaron de manera comparativa, mostrando los valores obtenidos antes y después de la aplicación del estudio. Esta comparativa se ilustró mediante tablas y diagramas de barras, evidenciando cuantitativamente el impacto de las mejoras implementadas en la operación.

4.2.8. Propuestas de mejoras y controles en carguío y acarreo

Análisis de los principales factores que generan tiempos improductivos

a) Condiciones Climáticas

La ocurrencia de fuertes lluvias, vientos intensos y neblina espesa en la zona del proyecto generó paradas operativas forzadas (stand by por clima). Estos eventos, al paralizar los trabajos, incrementaron significativamente los tiempos improductivos no controlables directamente por la gestión operativa.

Figura 29 *Equipos parqueados por factor climático*



b) Equipo topográfico

Los trabajos de levantamiento topográfico para el control de la relavera se vieron dificultados por la falta de una señal de GPS estable y, particularmente, por daños físicos a la base del equipo debido a volteos causados por los fuertes vientos, retrasando las actividades de medición en campo.

c) Pisos Irregulares en los frentes de Carguío

La presencia de superficies irregulares y desniveles pronunciados en las zonas de carguío de desmonte generó tiempos perdidos por la necesidad de realizar trabajos de acondicionamiento (ripping o relleno) previos a la operación. Esto generó colas de volquetes en espera, afectando la secuencia del ciclo.

d) Mantenimiento de vías

El mantenimiento periódico de los caminos de acarreo y accesos a la relavera, realizado por la motoniveladora, rodillo y retroexcavadora, resultó ser insuficiente o inoportuno. La degradación de las vías dificultó y ralentizó el tránsito de los volquetes, incrementando los tiempos de ciclo y el desgaste de los equipos.

e) Condiciones de operatividad

Se observó una falta de capacitación específica, experiencia operativa en condiciones de altitud y retroalimentación sistemática sobre el desempeño a los operadores de equipos, lo que se tradujo en ineficiencias en la ejecución de las maniobras y en el manejo de las contingencias.

f) Habilitación de áreas de descarga

Las zonas designadas para la descarga del material presentaban dimensiones reducidas y limitada capacidad de maniobra. Esta restricción física generó congestionamiento, colas de volquetes y demoras considerables en las actividades programadas de acarreo.

g) Gestión administrativa

Al inicio y durante la ejecución del proyecto se evidenciaron atrasos en la emisión de documentación crítica, como fotochecks, licencias de operación, autorizaciones para trabajos de alto riesgo y permisos para el ingreso de equipos. Estas demoras administrativas se materializaron en stand by por ausencia de operadores autorizados, impactando negativamente en la producción.

Propuestas de mejoras y controles en las actividades principales

Para mitigar las causas identificadas y mejorar el rendimiento de la flota, se diseñaron e implementaron las siguientes medidas de control y mejora:

a) Control para Equipo topográfico

Se habilitó una base topográfica permanente en un sector topográficamente protegido y menos expuesto a los fuertes vientos predominantes. Esta ubicación estratégica previno el volteo y los daños al instrumento, estabilizando y mejorando significativamente la calidad de la señal GPS para los levantamientos en campo.

Figura 30 *Control topográfico de la plataforma de la relavera*



b) Control de pisos en la zona de carguío

Se estableció un protocolo operativo por el cual los operadores de excavadoras asumieron el compromiso formal de acondicionar y nivelar el frente de trabajo al finalizar su turno, garantizando una superficie óptima para el carguío eficiente al inicio del siguiente turno.

c) Control de mantenimiento de vías

Se implementó un régimen de mantenimiento preventivo de vías que incluyó el riego sistemático con una cisterna de 5,000 galones de capacidad durante el turno día para control de polvo y consolidación. Adicionalmente, tras eventos de lluvia, se ejecutaron labores de limpieza y compactación de accesos utilizando de manera coordinada la motoniveladora, el rodillo y la retroexcavadora.

Figura 31 *Mantenimiento de vías*



d) Control de trabajos de empuje en áreas de descarga

Se realizó una evaluación de las áreas de descarga y se asignó de manera específica equipos de apoyo (tractores) encargados de realizar el empuje del material descargado y el acondicionamiento continuo de la plataforma, optimizando el espacio y reduciendo los tiempos de maniobra de los volquetes.

e) Controles para el área administrativa

Se designó un responsable exclusivo para la gestión y verificación centralizada de toda la documentación operativa (fotochecks, licencias, autorizaciones de alto riesgo, permisos de ingreso de equipos). Paralelamente, se elaboró e implementó un procedimiento formal para agilizar y estandarizar la gestión administrativa.

f) Control de supervisión

Se institucionalizaron reuniones periódicas de coordinación y evaluación con los supervisores de campo. Estas reuniones se focalizaron en revisar el desempeño operativo, el avance físico, la priorización de tareas y el estricto control del cumplimiento de las horas programadas para cada equipo.

Figura 32 *Reuniones de inicio de guardia*



g) Capacitación del Personal

Se ejecutó un programa de capacitación dirigido a todo el personal de campo, con especial énfasis en operadores y personal de apoyo. Los temas abordaron la ejecución correcta y segura de las labores. También se capacitó al controlador de equipos en el uso avanzado del sistema de registro y análisis de datos.

Figura 33 *Capacitación al personal de campo*



h) Control del clima

Se implementó un sistema de monitoreo meteorológico en tiempo real mediante estaciones locales. Este sistema, complementado con protocolos de comunicación radial, permitió anticipar eventos climáticos adversos, informar oportunamente al personal sobre posibles paralizaciones y activar procedimientos de protección ante rayos, tormentas eléctricas y lluvias intensas.

Figura 34 *Monitoreo del clima, comunicación radial*



Resultados

Para determinar de manera cuantitativa el impacto de las intervenciones en el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo de relaves, se realizó un análisis exhaustivo de los tiempos improductivos o demoras registradas. El objetivo de este análisis fue identificar las causas más significativas de pérdida de tiempo, sobre las cuales se aplicaron controles operativos minuciosos y las propuestas de mejora específicas descritas en la sección anterior. Como resultado de esta implementación, se logró una reducción considerable en la magnitud y frecuencia de las demoras, lo que se tradujo directamente en un incremento medible del porcentaje de utilización de los equipos, una mejora en su rendimiento horario (m^3/h o t/h) y un aumento en la producción volumétrica total del sistema.

La información operativa analizada fue extraída de la base de datos de control de equipos para la flota de carguío y acarreo de relaves. El estudio comparativo se estructuró en dos períodos definidos: una línea de base o etapa inicial, correspondiente a los meses de junio, julio y agosto del año 2024 (previo a la implementación de las mejoras), y una etapa de evaluación post-implementación, correspondiente a los meses de septiembre, octubre y noviembre del mismo año 2024. Esta segmentación temporal permitió un análisis comparativo claro del desempeño antes y después de las intervenciones.

Evaluación de los tiempos improductivos

Tiempos improductivos del carguío

En base al diagrama de Pareto evaluamos los tiempos improductivos de carguío, determinándose las demoras que más afectan en la reducción de tiempos muertos.

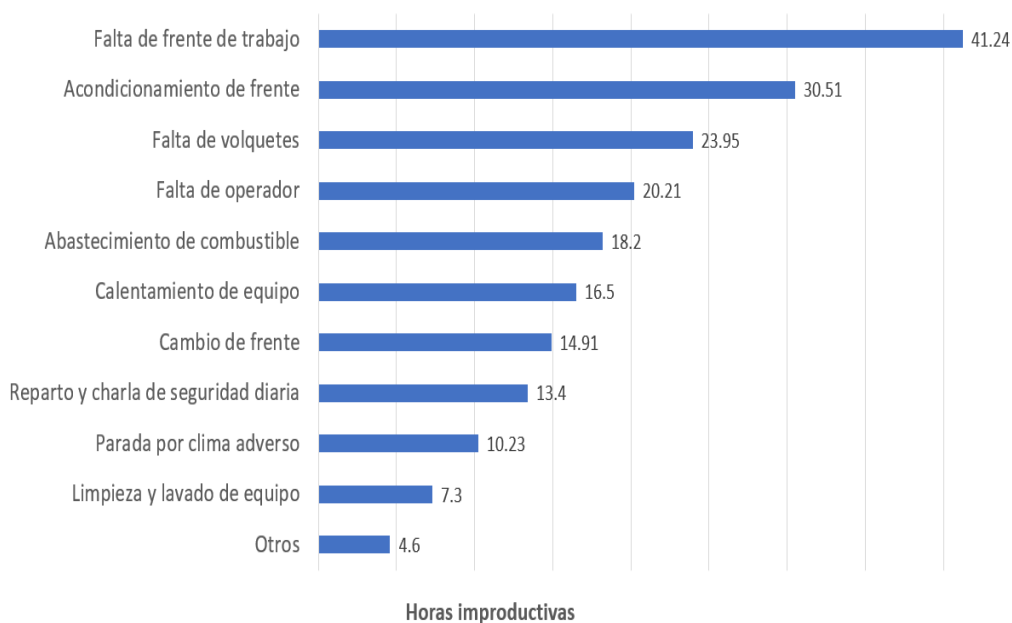
La evaluación tuvo dos etapas.

La primera etapa realizada en los meses de junio, julio y agosto del 2024, la segunda etapa después de aplicar los controles y mejoras planteadas, se realizó los meses de setiembre, octubre y noviembre, lo cual permitió reducir las demoras en la etapa de carguío.

Tabla 23 Horas improductivas en carguío en los meses de junio, julio y agosto 2024

CARGUIO (antes)			
Tiempos improductivos	Duración (horas)	Porcentaje (%)	Acumulado (%)
Falta de frente de trabajo	41.24	20.51	20.51
Acondicionamiento de frente	30.51	15.18	35.69
Falta de volquetes	23.95	11.91	47.60
Falta de operador	20.21	10.05	57.65
Abastecimiento de combustible	18.20	9.05	66.70
Calentamiento de equipo	16.50	8.21	74.91
Cambio de frente	14.91	7.42	82.33
Reparto y charla de seguridad diaria	13.40	6.66	88.99
Parada por clima adverso	10.23	5.08	94.07
Limpieza y lavado de equipo	7.30	3.64	97.71
Otros	4.6	2.29	100.00
TOTAL	201.05	100.00	

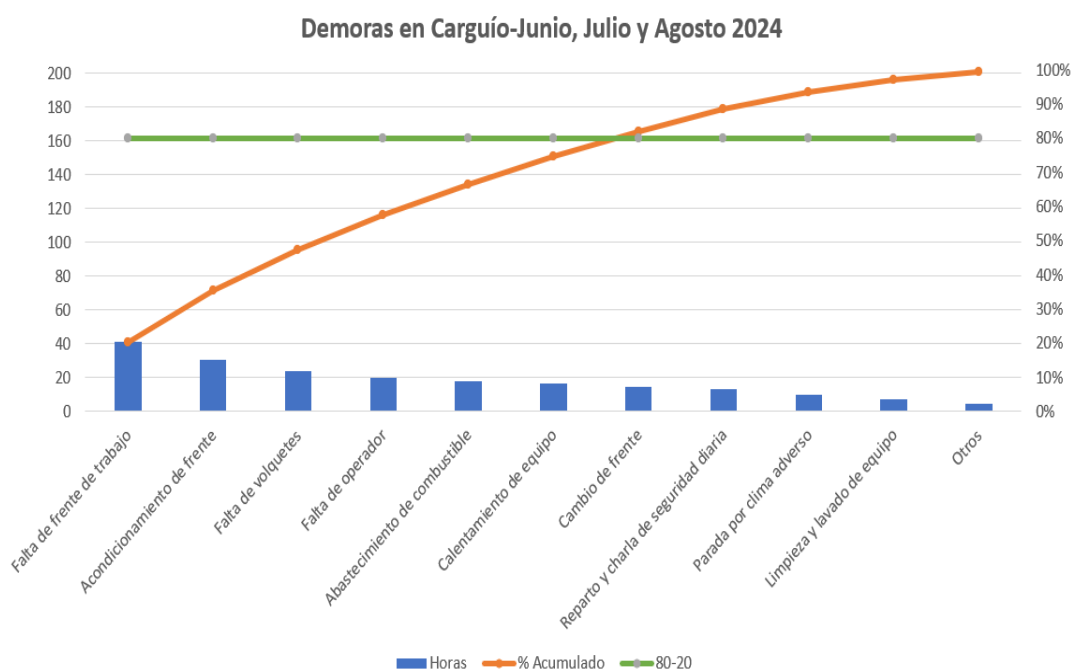
Figura 35 Horas improductivas en carguío en los meses de junio, julio y agosto 2024



La Tabla y su gráfica anterior presentan la distribución de las horas de tiempos improductivos registradas durante los meses de junio, julio y agosto para la actividad de carguío. El análisis de estos datos, representado mediante un diagrama de Pareto, identifica que las demoras más significativas, las cuales acumulan aproximadamente el 80% del tiempo total improductivo, corresponden a las siguientes causas: falta de frente de trabajo disponible, acondicionamiento del frente, falta de volquetes para ser cargados, falta de operador, abastecimiento de combustible y calentamiento de equipos.

La concentración del impacto en estas seis causas específicas permite focalizar los esfuerzos de mejora. Consecuentemente, las propuestas de mejora y los controles operativos detallados en la sección 8.2 fueron diseñados específicamente para mitigar o eliminar estas demoras prioritarias, con el objetivo de reducir su ocurrencia y duración en la etapa operativa posterior.

Figura 36 Diagrama de Pareto demoras en Carguío, meses de junio, julio, agosto 2024



Al implementar las mejoras mediante los controles de las actividades se tiene los siguientes resultados que se muestran en la tabla y figura siguiente.

Tabla 24 *Horas de demoras en carguío en los meses de septiembre, octubre y noviembre 2024*

CARGUIO			
Tiempos improductivos	Duración (horas)	Porcentaje (%)	Acumulado (%)
Falta de frente de trabajo	20.50	31.21	31.21
Falta de volquetes	9.73	14.81	46.02
Abastecimiento de combustible	7.95	12.10	58.12
Falta de operador	7.40	11.26	69.38
Acondicionamiento de frente	5.98	9.10	78.48
Parada por clima adverso	4.22	6.42	84.90
Calentamiento de equipo	3.85	5.86	90.76
Cambio de frente	2.70	4.11	94.87
Reparto y charla de seguridad diaria	1.95	2.97	97.84
Limpieza y lavado de equipo	0.72	1.10	98.94
Otros	0.69	1.06	100.00
TOTAL	65.69	100.00	

Figura 37 *Horas improductivas en carguío en los meses de setiembre, octubre, noviembre 2024*

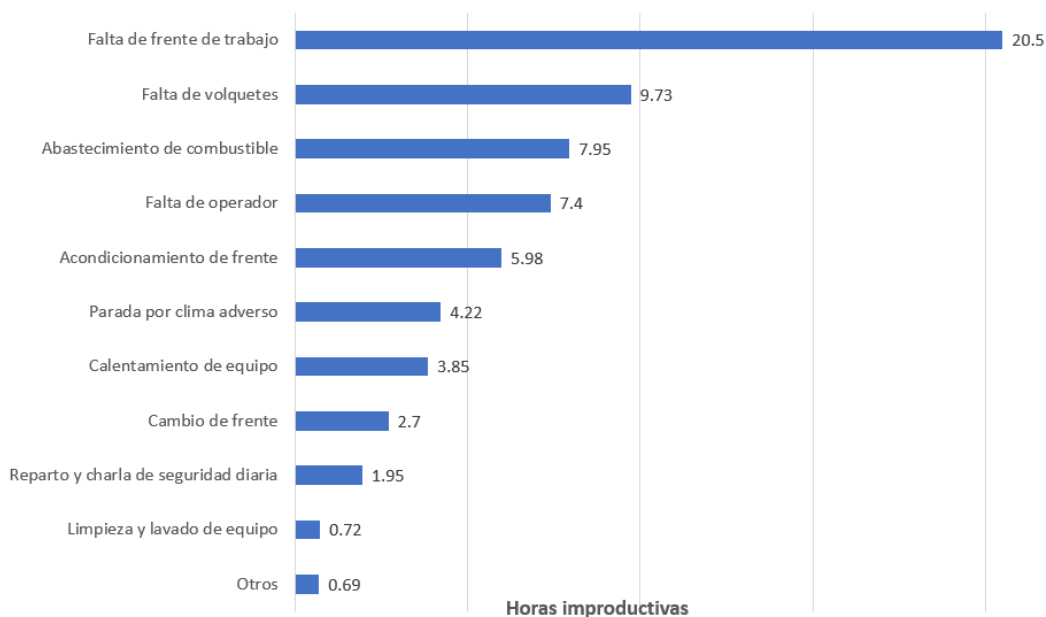
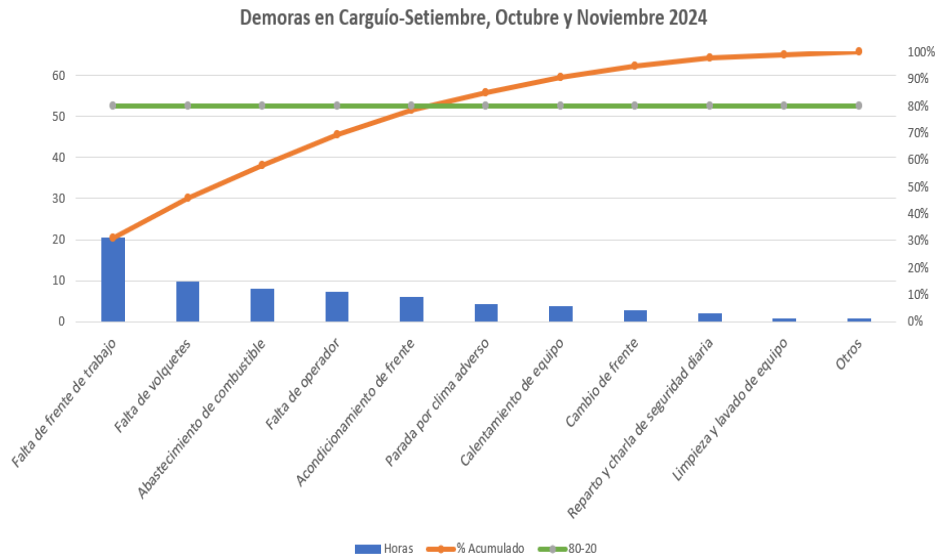


Figura 38 Diagrama de Pareto para las demoras en carguío en los meses de *septiembre, octubre y noviembre 2024*



La Tabla anterior y su correspondiente gráfica presentan la distribución de las horas de tiempos improductivos registradas durante los meses de setiembre, octubre y noviembre para la actividad de carguío, período posterior a la implementación de las propuestas de mejora. El diagrama de Pareto correspondiente a esta etapa muestra que las demoras más significativas, las cuales concentran aproximadamente el 80% del tiempo improductivo, son: falta de frente de trabajo, falta de volquetes, abastecimiento de combustible y falta de operador.

Si bien estas causas se mantienen como las principales, se observa una reducción amplia y significativa en la magnitud de las horas perdidas por cada una de ellas en comparación con los meses de junio, julio y agosto. Esta disminución cuantitativa evidencia la efectividad inicial de las mejoras implementadas. No obstante, la persistencia de estas categorías en la cúspide del análisis indica la necesidad de mantener y reforzar los controles operativos específicos diseñados para atacarlas, así

como de evaluar la posible implementación de medidas correctivas adicionales para su eliminación continua.

Tiempos improductivos en acarreo

En base al diagrama de Pareto evaluamos los tiempos improductivos de acarreo, determinándose las demoras que más afectan en la reducción de tiempos muertos.

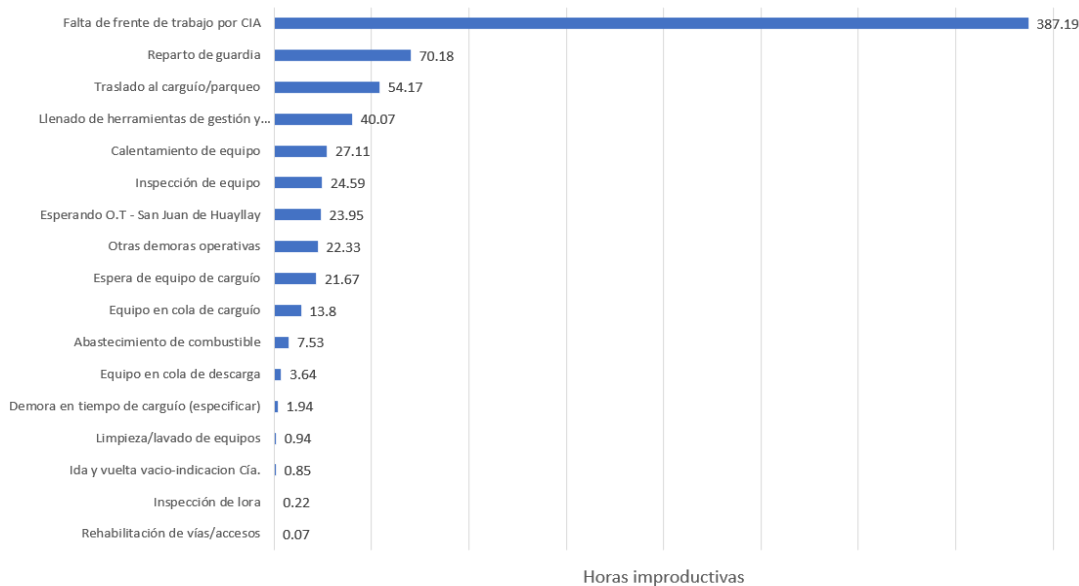
La evaluación tuvo dos etapas.

La primera etapa realizada en los meses de junio, julio y agosto del 2024, la segunda etapa después de aplicar los controles y mejoras planteadas, se realizó los meses de setiembre, octubre y noviembre, lo cual permitió reducir las demoras en la etapa de acarreo.

Tabla 25 Horas de demoras en acarreo de los meses de junio, julio y agosto 2024

ACARREO (antes)			
Tiempos improductivos	Duración (horas)	Porcentaje (%)	Acumulado (%)
Falta de frente de trabajo por CIA	387.19	55.3	55.30
Reparto de guardia	70.18	10.02	65.32
Traslado al carguío/parqueo	54.17	7.74	73.06
Llenado de herramientas de gestión y liberación	40.07	5.72	78.78
Calentamiento de equipo	27.11	3.87	82.65
Inspección de equipo	24.59	3.51	86.16
Esperando O.T - San Juan de Huayllay	23.95	3.42	89.58
Otras demoras operativas	22.33	3.19	92.77
Espera de equipo de carguío	21.67	3.09	95.86
Equipo en cola de carguío	13.80	1.97	97.83
Abastecimiento de combustible	7.53	1.08	98.91
Equipo en cola de descarga	3.64	0.52	99.43
Demora en tiempo de carguío (especificar)	1.94	0.27	99.70
Limpieza/lavado de equipos	0.94	0.13	99.83
Ida y vuelta vacio-indicacion Cía.	0.85	0.12	99.95
Inspección de lora	0.22	0.03	99.98
Rehabilitación de vías/accesos	0.07	0.02	100.0
Total general	700.25	100.00	

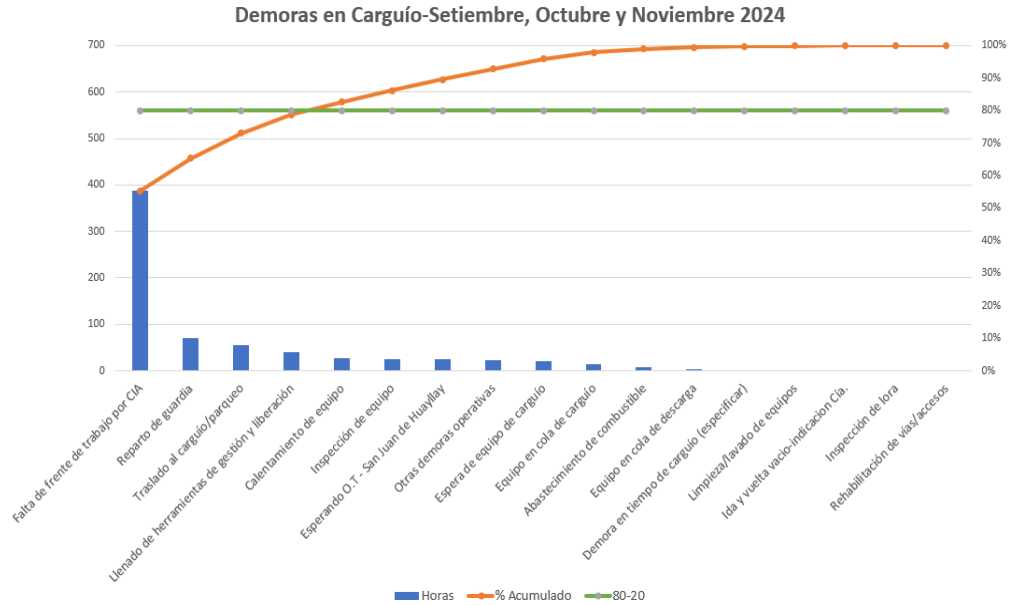
Figura 39 Representación gráfica de las demoras en acarreo de los meses de junio, julio y agosto 2024



La tabla anterior y su gráfica asociada muestran la distribución de las horas de tiempos improductivos registradas durante los meses de junio, julio y agosto para la actividad de acarreo o transporte. El análisis de estos datos, mediante un diagrama de Pareto, revela que las demoras que acumulan aproximadamente el 80% del tiempo total improductivo en esta etapa corresponden a las siguientes causas: Falta de frente de trabajo por parte de la contratista (CIA), Reparto de guardia, Traslado al punto de carguío/parqueo, Llenado de herramientas de gestión y liberación de documentos, y Calentamiento de equipo.

La identificación de estas cinco causas como las más significativas permite una focalización precisa de las intervenciones. Por consiguiente, las propuestas de mejora y los protocolos de control establecidos en la sección 8.2 fueron concebidos para abordar de manera directa estas fuentes de ineficiencia, con el objetivo de minimizar su impacto en la productividad del ciclo de transporte durante la etapa de implementación subsiguiente.

Figura 40 Diagrama de Pareto para las demoras en acarreo, meses de junio, julio y agosto 2024



Durante los meses de setiembre, octubre y noviembre se aplicaron de manera sistemática los controles y propuestas de mejora diseñados específicamente para la reducción de tiempos improductivos en la actividad de acarreo. Los resultados de esta implementación, en términos de horas de demora remanentes, se encuentran consignados en la Tabla 22.

La distribución y magnitud de estas demoras en el período post-implementación se representa gráficamente en la Figura 9. El análisis de esta información permite realizar una evaluación cuantitativa y comparativa de la efectividad de las medidas correctivas aplicadas, contrastando los niveles de improductividad alcanzados con los registrados en la línea base de los meses de junio, julio y agosto.

Tabla 26 Horas de demoras en acarreo en los meses de septiembre, octubre y noviembre 2024

ACARREO (después)			
Tiempos improductivos	Duración (horas)	Porcentaje (%)	Acumulado (%)
Falta de frente de trabajo por CIA	98.40	31.27	31.27
Reparto de guardia	55.35	17.59	48.86
Traslado al carguío/parqueo	38.10	12.11	60.97
Llenado de herramientas de gestión y liberación	21.7	6.89	67.86
Calentamiento de equipo	21.50	6.83	74.69
Espera de equipo de carguío	18.50	5.88	
Otras demoras operativas	15.40	4.89	
Inspección de equipo	12.26	3.89	78.58
Esperando O.T - San Juan de Huayllay	10.38	3.30	81.88
Equipo en cola de carguío	10.38	3.29	95.94
Abastecimiento de combustible	6.0	1.91	97.85
Equipo en cola de descarga	3.2	1.02	98.87
Demora en tiempo de carguío (especificar)	1.5	0.47	99.34
Limpieza/lavado de equipos	0.91	0.28	99.62
Ida y vuelta vacio-indicacion Cía.	0.80	0.25	99.87
Inspección de lora	0.20	0.09	99.96
Rehabilitación de vías/accesos	0.06	0.04	100.00
Total general	314.64	100.00	

Figura 41 Horas improductivas en acarreo en los meses de setiembre, octubre, noviembre 2024

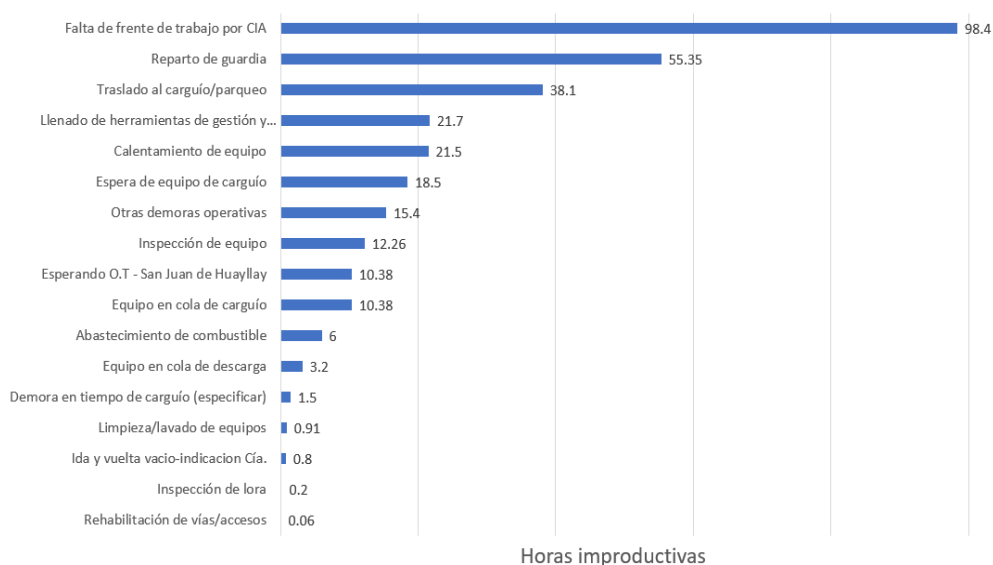
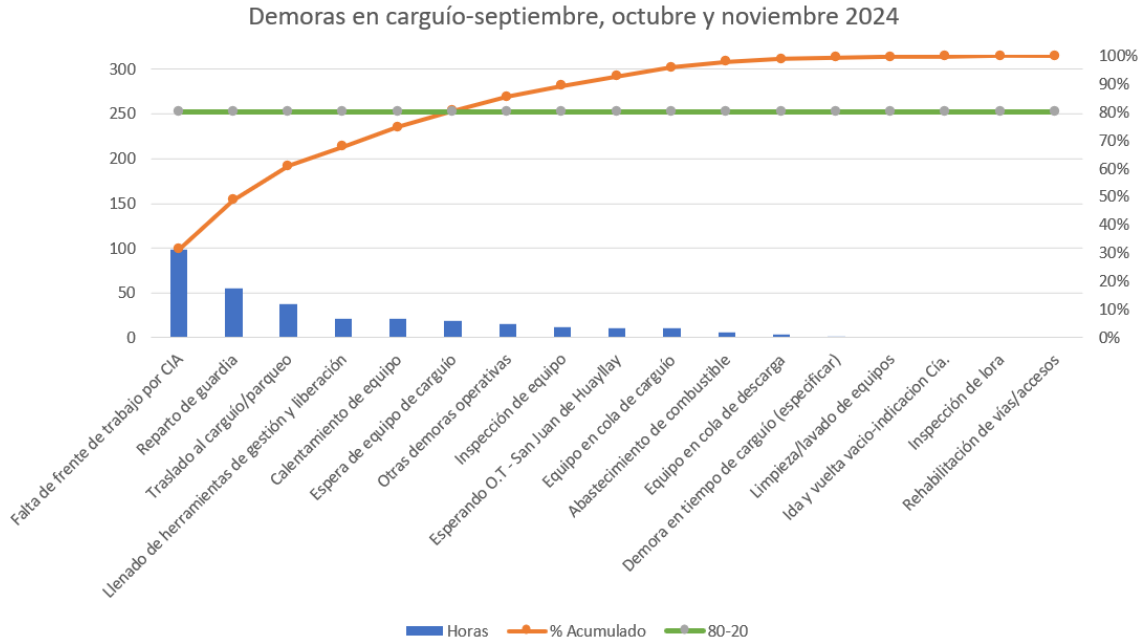


Figura 42 Diagrama de Pareto para las demoras en acarreo en los meses de *septiembre, octubre y noviembre 2024*



La tabla y figura anteriores presentan las horas de tiempos improductivos registradas durante los meses de setiembre, octubre y noviembre para la actividad de acarreo. El diagrama de Pareto derivado de estos datos identifica que las demoras más significativas, las cuales concentran aproximadamente el 80% del tiempo improductivo total, corresponden a: Falta de frente de trabajo por parte de la contratista (CIA), Reparto de guardia, Traslado al carguío/parqueo, Llenado de herramientas de gestión y liberación, Calentamiento de equipo y Espera de equipo de carguío.

Si bien la categorización de las causas principales se mantiene similar a la etapa inicial, incorporándose la "Espera de equipo de carguío" como una demora relevante, se constata una reducción amplia y sustancial en la magnitud de las horas perdidas para cada una de estas categorías al compararlas con los valores registrados en los meses de junio, julio y agosto. Esta disminución cuantitativa demuestra la efectividad de los controles aplicados. No obstante, la persistencia de estas mismas categorías en la

cúspide del análisis de Pareto indica que, si bien su impacto se mitigó, no fueron eliminadas por completo. Por lo tanto, es imperativo mantener y optimizar de manera continua las propuestas de mejora ya implementadas, y evaluar la necesidad de acciones correctivas adicionales o ajustes en los procedimientos para lograr una mejora sostenida y una mayor reducción de estos tiempos improductivos residuales.

4.3. Prueba de hipótesis

Contrastación de Hipótesis General

Hipótesis alterna (H_a).- El Sistema de Control Interno se relaciona significativamente con la Evaluación del Desempeño en la Ingeniería

Hipótesis nula (H_0).- El Sistema de Control Interno no se relaciona significativamente con la Evaluación del Desempeño en la Ingeniería

Como $Z_{cál} = 4.70$, cae en la región de aceptación, rechazamos la H_0 . El Sistema de Control Interno se relaciona significativamente con la Evaluación del Desempeño en la Administración de la EPS EMAPICASA de Ica.

Contrastación de Hipótesis Específica 1

Hipótesis alterna (H_a).- Los Objetivos de evaluación de desempeño se relaciona significativamente con el Sistema de Control Interno en la Administración de la EPS EMAPICASA de Ica.

Hipótesis nula (H_0).- Los Objetivos de evaluación de desempeño no se relaciona significativamente con el Sistema de Control Interno en la Ingeniería

Como $Z_{cál} = 5.14$, cae en la región de aceptación, rechazamos los H_0 . Los Objetivos de evaluación de desempeño se relacionan significativamente con el Sistema de Control Interno

Hipótesis alterna (H_a).- Los Beneficios de evaluación del desempeño se relaciona significativamente

Hipótesis nula (H_0).- Los Beneficios de evaluación del desempeño no se relaciona

Como $Z_{cál} = 2.77$, cae en la región de aceptación, rechazamos el H_0 . Los Beneficios de evaluación del desempeño se relacionan significativamente con el Sistema de Control

Hipótesis alterna (H_a).- Las Nuevas tendencias de evaluación del desempeño se relaciona significativamente con el Sistema de Control Interno

Hipótesis nula (H_0).- Las Nuevas tendencias de evaluación del desempeño no se relaciona significativamente con el Sistema de Control Interno

Como $Z_{cál} = 3.36$, cae en la región de aceptación, rechazamos la H_0 . Las Nuevas tendencias de evaluación del desempeño se relacionan significativamente con el Sistema de Control Interno

Contrastación de Hipótesis Específica 2

Hipótesis alterna (H_a).- Los Métodos de evaluación del desempeño se relaciona significativamente con el Sistema de Control Interno

Hipótesis nula (H_0).- Los Métodos de evaluación del desempeño no se relaciona significativamente con el Sistema de Control Interno

Como $Z_{cál} = 3.85$, cae en la región de aceptación, rechazamos la H_0 . Los Métodos de evaluación del desempeño se relacionan significativamente con el Sistema de Control Interno en la Administración de la EPS EMAPICASA de Ica.

Hipótesis alterna (H_a).- Los Factores de evaluación de desempeño se relaciona significativamente con el Sistema de Control

Hipótesis nula (H_0).- Los Factores de evaluación de desempeño no se relaciona significativamente con el Sistema de Control

Para determinar cuantitativamente el incremento en el indicador de Utilización de los equipos de carguío y acarreo, se procesó la información contenida en la base de datos operativa de la mina. Esta data, de carácter primario, fue generada a partir de los reportes diarios de producción de cada equipo, considerados como el registro fidedigno de las actividades en campo.

El análisis comparativo se estructuró en dos períodos claramente definidos. La primera etapa o línea base comprendió los datos operativos de los meses de junio, julio y agosto, los cuales reflejan el desempeño previo a cualquier intervención. Posteriormente, una vez implementado y consolidado el plan de mejora, se evaluó la segunda etapa, correspondiente a los datos de los meses de setiembre, octubre y noviembre. Esta metodología permitió aislar y medir el impacto directo de las mejoras en el porcentaje de utilización de la flota.

Utilización de equipos de carguío

Se evaluó la utilización de las 5 excavadoras las que trabajan en el proyecto de relaves.

Tenemos la siguiente relación:

$$\%UT = \frac{HT}{HD} = \frac{HD - HDNT}{HP - HMTTO}$$

Donde:

- %UT: % Utilización.
- HT: Horas Trabajadas Efectivas.
- HD: Horas Disponibles.
- HP: Horas programadas.
- HDNT: Horas Disponibles No Trabajadas.

- HMTTO: Horas de Mantenimiento

Tabla 27 Promedio de utilización (%) de las excavadoras en los meses de junio, julio y agosto antes de aplicar los controles

Equipo	Hrs. Trab. (HT) mensual	Hrs. Disp. No Trab. (HDNT) Mensual	Hrs. Disp. (HD) Mensual	Hrs. de Mtto. (HMTTO) Mensual	Hrs. Prog. (HP) Mensual	Disp. Mec. (%)	Utilización (%)
Exc-01	365.40	116.41	481.56	16.30	480	96.80	75.50
Exc-01	420.78	139.72	560.50	23.35	572	96.20	73.60
Exc-01	414.55	147.67	562.22	5.80	585	98.90	73.12
Exc-01	335.54	125.54	461.32	10.12	460	97.92	71.10
Exc-01	420.50	165.15	585.65	3.18	582	99.40	72.80
Promd.	391.35	138.89	530.25	11.75	535.80	97.84	73.22

La tabla anterior indica que el porcentaje de utilización de los equipos de carguío en promedio durante los tres primeros meses de evaluación llega a 73.22 % lo cual se halla por debajo del estándar establecido por la empresa de 85 % debido a que se tiene buena cantidad de horas disponibles no trabajadas, lo cual debe ser corregido.

Mediante la implementación de mejoras y controles en el proceso de carguío en los meses de setiembre, octubre y noviembre se mejoro las horas trabajadas de estos equipos.

Tabla 28 Promedio de utilización (%) de las excavadoras en los meses de setiembre, octubre y noviembre después de aplicar los controles

Equipo	Hrs. Trab. (HT) mensual	Hrs. Disp. No Trab. (HDNT) Mensual	Hrs. Disp. (HD) Mensual	Hrs. de Mtto. (HMTTO) Mensual	Hrs. Prog. (HP) Mensual	Disp. Mec. (%)	Utilización (%)
Exc-01	410.15	92.05	502.20	9.02	512	98.10	80.20
Exc-01	494.90	95.53	590.43	18.25	610	96.50	83.50
Exc-01	476.92	103.58	580.50	3.40	600	99.59	82.75
Exc-01	458.83	106.83	565.66	8.25	573	98.51	81.20
Exc-01	479.53	90.82	570.35	13.62	580	97.30	84.30
Promd.						98.00	82.39

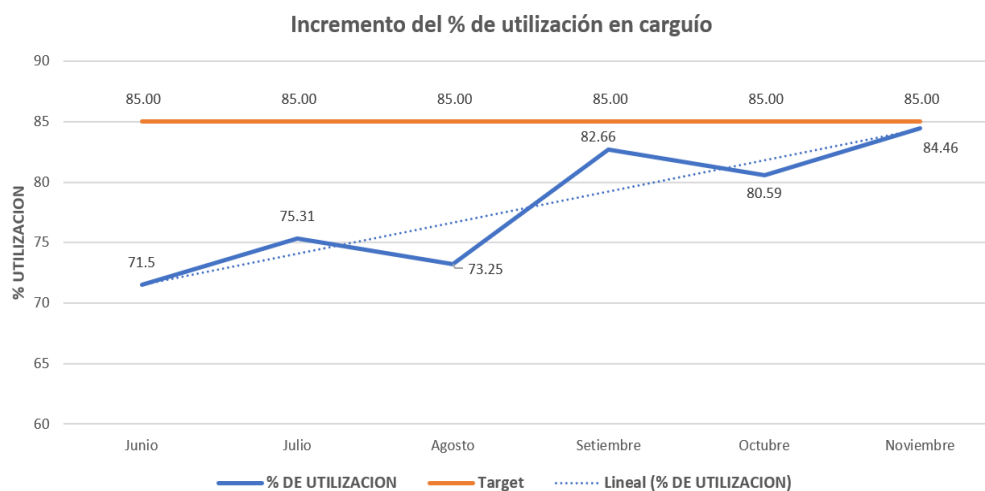
Observando la tabla anterior vemos que la utilización de las excavadoras ha subido debido a las mejoras hechas, a los controles realizados a las capacitaciones realizados a los trabajadores del área, con un porcentaje promedio de 82.39 % cerca al estándar establecido por la empresa de 85 %.

De la documentación existente en la mina sobre utilización de los equipos de carguío se determinó el % de utilización promedio en el carguío de los meses de junio a noviembre motivo de la investigación los cuales fueron lo siguiente:

Tabla 29 *Porcentaje promedio de utilización de equipos de acarreo*

CARGUIO	
MES	% DE UTILIZACION
Junio	71.50
Julio	75.31
Agosto	73.25
Setiembre	82.66
Octubre	80.59
Noviembre	84.46
Promedio general	

Figura 43 *Incremento del % de utilización en carguío, antes (junio - agosto) y después (septiembre - noviembre)*



Como se puede observar en la tabla y figura se logró subir el porcentaje de utilización en la segunda etapa de 71.50 % (junio) a 84.46 % (noviembre) esto debido a las mejoras realizadas.

Utilización en los equipos de acarreo

Para la evaluación del indicador de Utilización de la flota de acarreo, se analizó el desempeño de los 16 volquetes que componían la muestra de estudio. El proceso consistió en el cálculo y consolidación mensual de las siguientes variables operativas fundamentales, extraídas de los reportes diarios:

Horas Trabajadas Mensual (HT): Sumatoria de las horas efectivas de trabajo productivo.

Horas Disponibles No Trabajadas Mensual (HDNT): Sumatoria de las horas en que el equipo estuvo disponible pero inactivo por demoras.

Horas Disponibles Mensual (HD): Calculada como $HD = HT + HDNT$.

Horas de Mantenimiento Mensual (HMTTO): Sumatoria del tiempo dedicado a mantenimiento planificado y correctivo.

Horas Programadas Mensual (HP): Total de horas asignadas para operación en el mes.

Disponibilidad Mecánica (DM): Calculada como $[(HD) / (HP)] * 100\%$.

Porcentaje de Utilización (U): Calculada como $[(HT) / (HD)] * 100\%$.

La síntesis de estos cálculos, que presenta los valores agregados y los indicadores resultantes para cada mes del período de estudio, se detalla en la siguiente

Tabla 30 Promedio de utilización (%) de los volquetes en los meses de junio, julio y agosto antes de aplicar los controles

Equipo	Hrs. Trab. (HT) mensual	Hrs. Disp. No Trab. (HDNT) Mensual	Hrs. Disp. (HD) Mensual	Hrs. de Mtto. (HMTTO) Mensual	Hrs. Prog. (HP) Mensual	Disp. Mec. (%)	Utilización (%)
Vol-01	340.60	177.8	518.40	17.60	530	95.62	80.89
Vol-02	320.38	205.12	525.50	35.38	530	93.10	81.20
Vol-03	379.50	149.6	529.10	58.25	535	95.40	78.10
Vol-04	370.25	191.45	561.70	41.00	570	96.73	83.20
Vol-05	268.45	262.03	530.48	82.90	550	90.448	76.54
Vol-06	382.10	153.04	535.14	9.18	550	93.57	81.05
Vol-07	299.84	197.96	497.80	33.38	520	91.90	76.89
Vol-08	388.47	146.11	534.58	25.85	540	97.28	82.40
Vol-09	395.20	101.56	496.76	18.45	510	93.25	81.10
Vol-10	296.89	239.29	536.18	130.00	540	97.26	84.90
Vol-11	315.69	252.87	568.56	89.80	575	89.90	85.45
Vol-12	375.86	163.83	539.69	28.39	560	96.69	85.10
Vol-13	299.90	159.6	459.50	45.73	460	89.70	77.80
Vol-14	2.98.70	181.70	480.40	24.20	500	94.00	78.49
Vol-15	365.19	191.71	556.90	13.00	560	96.79	81.66
Vol-16	380.38	130.70	511.08	39.50	520	89.52	76.43
Promedio						88.57	80.68

De la tabla anterior la utilización promedio de los meses junio a agosto fue de 80.68 % valor que está por debajo del estándar que es de 85% en los volquetes, la disponibilidad mecánica promedio mensual (88.57%) es menor con respecto al estándar 95 %.

Con la implementación de las mejoras y controles establecidos se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 31 Promedio de utilización (%) de los volquetes en los meses de septiembre, octubre y noviembre después de aplicar los controles

Equipo	Hrs. Trab. (HT) mensual	Hrs. Disp. No Trab. (HDNT) Mensual	Hrs. Disp. (HD) Mensual	Hrs. de Mtto. (HMTTO) Mensual	Hrs. Prog. (HP) Mensual	Disp. Mec. (%)	Utilización (%)
Vol-01	425.22	95.18	520.40	24.58	540	93.70	81.80
Vol-02	410.50	113.6	524.10	32.95	560	94.10	79.55
Vol-03	448.80	81.35	530.15	20.80	555	95.22	84.60
Vol-04	475.82	86.93	562.75	28.28	590	95.21	85.68
Vol-05	390.20	139.18	529.38	52.60	560	90.98	83.66
Vol-06	438.48	100.02	538.50	32.80	555	92.20	87.69
Vol-07	415.50	154.10	569.60	44.25	575	91.98	82.45
Vol-08	463.64	71.86	535.50	15.50	560	93.22	84.68
Vol-09	465.63	103.05	568.68	10.34	575	94.40	85.58
Vol-10	420.72	125.13	545.85	38.14	560	93.70	87.00
Vol-11	392.25	68.00	460.25	56.70	480	89.20	82.20
Vol-12	468.48	52.17	520.65	17.30	535	96.80	81.89
Vol-13	367.87	92.43	460.30	52.80	490	89.90	81.49
Vol-14	392.48	87.62	480.10	35.90	510	91.25	82.45
Vol-15	425.65	130.25	555.90	6.10	580	92.15	83.50
Vol-16	425.67	84.47	510.12	48.80	530	91.50	83.48
Promedio						92.84	83.61

Los resultados de la tabla indican que hay un aumento de la utilización promedio mensual de los equipos a 83.61%, producto de las mejoras realizadas y los controles establecidos, la disponibilidad mecánica también aumento de 88.57 % a 92.84% .

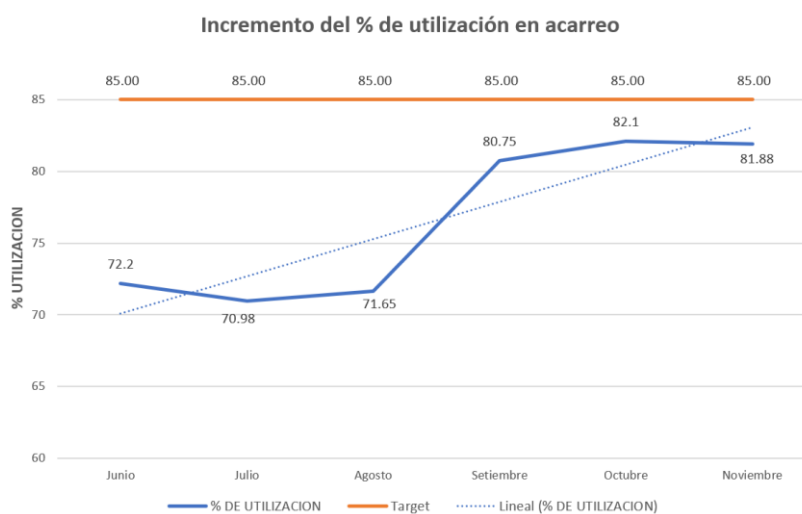
De la documentación existente en la mina sobre utilización de los equipos de acarreo se determinó el % promedio por mes de utilización en el acarreo de los meses de junio a noviembre motivo de la investigación los cuales fueron lo siguiente:

Tabla 32 Porcentaje promedio por mes de utilización de los equipos de acarreo de junio a noviembre 2024

ACARREO	
MES	% DE UTILIZACION
Junio	72.20
Julio	70.98
Agosto	71.65
Setiembre	80.75
Octubre	82.10
Noviembre	81.88

En base a los datos de la tabla se ve el incremento de la utilización de los equipos de acarreo promedio mensual de 70.98 % (julio) a 82.10 % (octubre)

Figura 44 Incremento del % de utilización en acarreo, antes (junio - agosto) y después (septiembre - noviembre) de aplicar el estudio



Rendimientos de equipos en carguío y acarreo

Durante los meses de junio, julio y agosto se registraron rendimientos operativos (m³/h o t/h) por debajo de los estándares establecidos tanto para los equipos de carguío como para los de acarreo. Este desempeño subóptimo fue una consecuencia directa de la elevada presencia y duración de las demoras operativas y no operativas

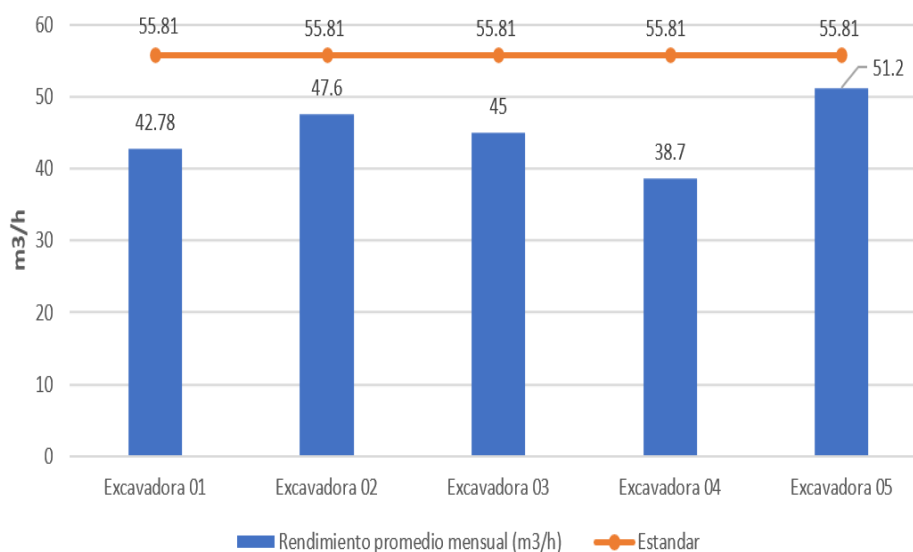
identificadas en el análisis inicial, las cuales fragmentaron y redujeron el tiempo efectivo de trabajo productivo.

Posteriormente, tras la aplicación sistemática de los controles y propuestas de mejora, se obtuvieron resultados favorables que se manifestaron, en primera instancia, en un incremento sustancial de las horas-máquina trabajadas efectivas. Este aumento en la utilización del tiempo disponible constituyó el primer paso para la mejora de los indicadores de productividad de la flota.

Tabla 33 Rendimiento promedio mensual de excavadoras de los meses de junio, julio y agosto (antes)

CARGUIO (antes)	
Excavadora	Rendimiento promedio mensual (m3/h)
Excavadora 01	42.78
Excavadora 02	47.60
Excavadora 03	45.00
Excavadora 04	38.70
Excavadora 05	51.20
Promedio general mensual	45.10
Estándar	55.81

Figura 45 Rendimiento promedio mensual de excavadoras de los meses de junio, julio y agosto (antes)



De la tabla y figura se puede observar que en ningún mes se logra alcanzar el estándar programado (55.81 m³/h) por las excavadoras en el carguío del relave y desmonte.

Tabla 34 Rendimiento promedio mensual de excavadoras de los meses de septiembre, octubre y noviembre (después)

CARGUIO (dspues)	
Excavadora	Rendimiento promedio mensual (m ³ /h)
Excavadora 01	56.68
Excavadora 02	57.20
Excavadora 03	58.40
Excavadora 04	56.85
Excavadora 05	57.60
Promedio general	

Figura 46 Rendimiento promedio mensual de carguío de los meses de septiembre, octubre y noviembre (después)

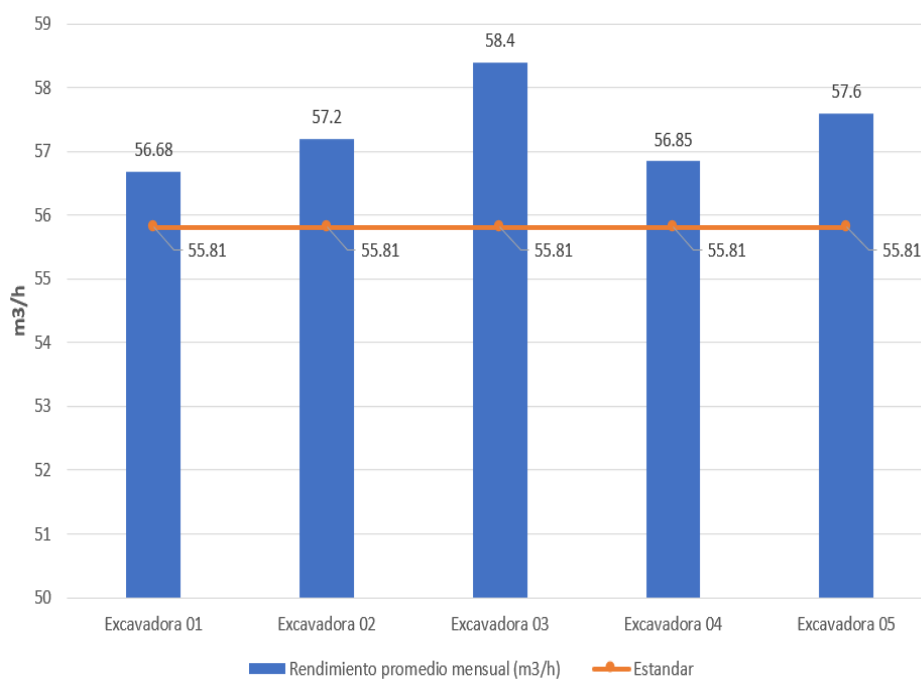
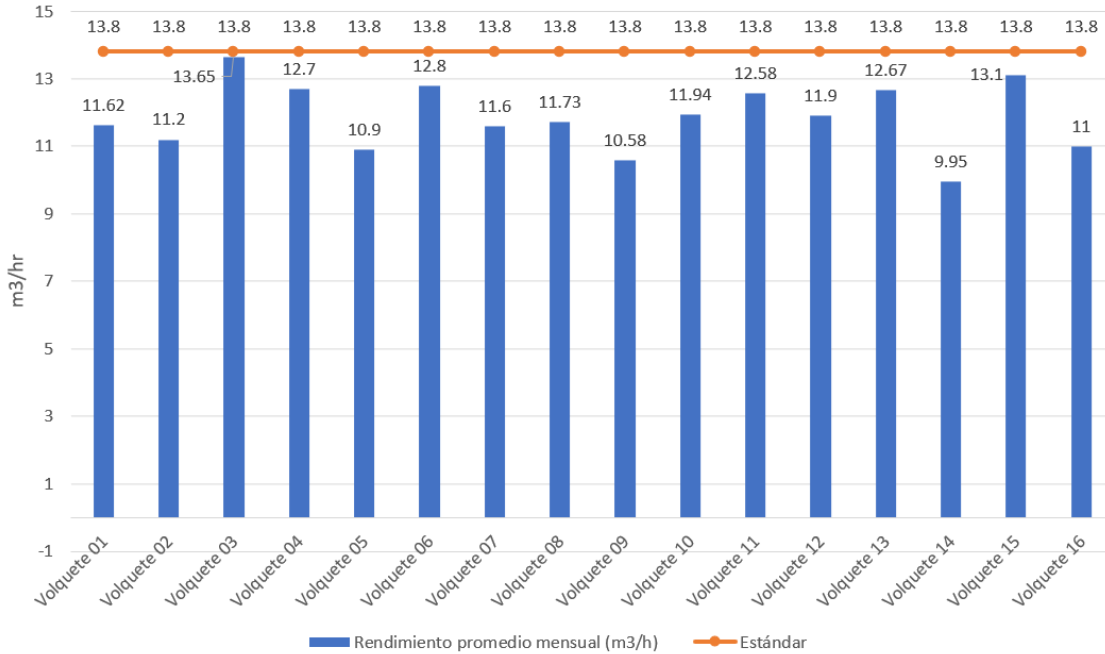


Tabla 35 Rendimiento promedio de volquetes en acarreo de material de relave de los meses de junio, julio y agosto (antes)

Rendimiento estándar = 13.80 m³/hr

ACARREO (antes)	
Volquete	Rendimiento promedio mensual (m³/h)
Volquete 01	11.62
Volquete 02	11.20
Volquete 03	13.65
Volquete 04	12.70
Volquete 05	10.90
Volquete 06	12.80
Volquete 07	11.60
Volquete 08	11.73
Volquete 09	10.58
Volquete 10	11.94
Volquete 11	12.58
Volquete 12	11.90
Volquete 13	12.67
Volquete 14	9.95
Volquete 15	13.10
Volquete 16	11.00
promedio	11.87
Estándar	13.80 m ³ /hr

Figura 47 Rendimiento promedio de volquetes en acarreo de material de relave en los meses de junio, julio y agosto (antes)



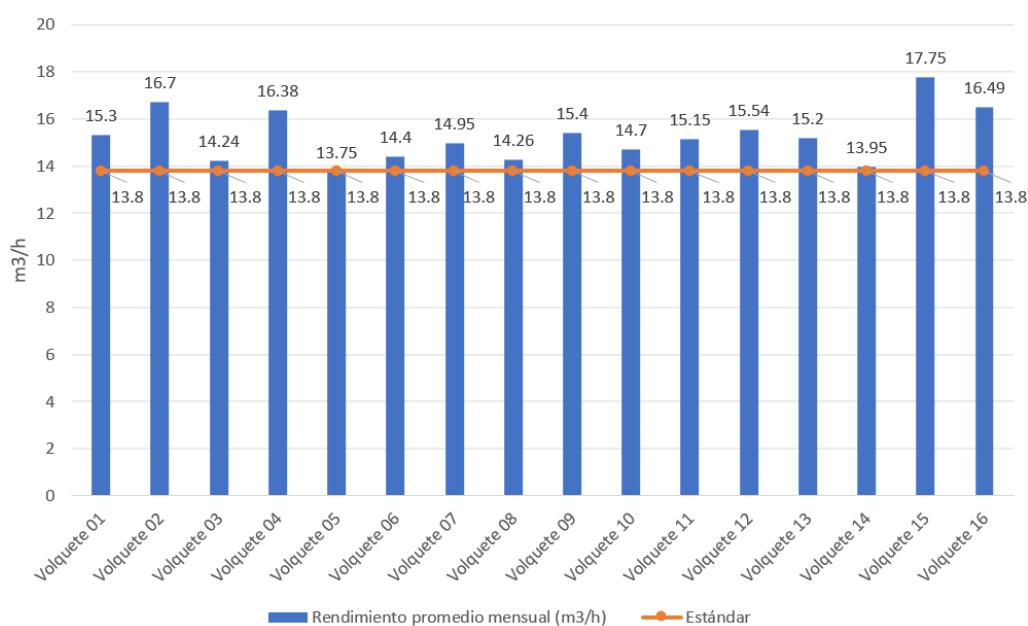
Debido a la ausencia de controles operativos sistemáticos durante los primeros meses de la etapa de movimiento de relaves, el rendimiento promedio de la flota de volquetes se situó consistentemente por debajo del valor programado de 13.80 m³/hora, tal como se detalla en la Figura 19. Este incumplimiento del estándar de productividad evidenció una brecha operacional significativa entre el potencial teórico de los equipos y el desempeño real alcanzado en campo.

Esta desviación negativa, cuantificada y representada gráficamente, constituyó la justificación técnica fundamental que propició y priorizó la ejecución de las propuestas de mejora específicas. El objetivo central de dichas intervenciones fue eliminar los cuellos de botella y las demoras identificadas, con el fin de alcanzar y sostener los avances programados y cumplir con los indicadores de rendimiento establecidos para la operación de acarreo.

Tabla 36 Rendimiento promedio de volquetes en acarreo de material de relave en los meses de septiembre, octubre y noviembre (después)

ACARREO (después)	
Volquete	Rendimiento promedio mensual (m3/h)
Volquete 01	15,30
Volquete 02	16.70
Volquete 03	14.24
Volquete 04	16.38
Volquete 05	13.75
Volquete 06	14.40
Volquete 07	14.95
Volquete 08	14.26
Volquete 09	15.40
Volquete 10	14.70
Volquete 11	15.15
Volquete 12	15.54
Volquete 13	15.20
Volquete 14	13.95
Volquete 15	17.75
Volquete 16	16.49
promedio	15.26
Estándar	13.80 m3/hr

Figura 48 Rendimiento promedio de volquetes en acarreo de material de relave en los meses de septiembre, octubre y noviembre (después)



En la figura 20, se precisa como en el proceso de acarreo de relaves, el rendimiento ejecutado real supero al rendimiento programado llegando a 15.26 m³/hr..

4.4. Discusión de resultados

La presente investigación busca analizar la variable Sistema de Control Interno para establecer su relación con la variable Evaluación del Desempeño.

En base a los resultados obtenidos en la investigación se ha determinado que existe una relación directa en las variables

forma de mejora en la referida institución y también en los procesos del sistema de control interno.

En cuanto a los resultados de las hipótesis específicas tenemos:

En la hipótesis específica 1; se señala que: existe una relación entre la variable Sistema de Control Interno y la dimensión Objetivos de evaluación de desempeño. Esta hipótesis lo validamos al tener un coeficiente de correlación de Pearson equivalente a 0,596 (tabla 13), que refleja una correlación positiva moderada; es decir a un buen nivel de Sistema de Control Interno, le corresponde un buen nivel de Objetivos de evaluación de desempeño; a un deficiente nivel de Sistema de Control Interno, le corresponde un deficiente nivel de Objetivos de evaluación de desempeño.

En la hipótesis específica 2; se señala que: existe una relación entre la variable Sistema de Control Interno y la dimensión Objetivos de evaluación de desempeño. Esta hipótesis lo validamos al tener un coeficiente de correlación de Pearson equivalente a 0,596 (tabla 13), que refleja una correlación positiva moderada; es decir a un buen nivel de Sistema de Control Interno, le corresponde un buen nivel de Objetivos de evaluación de desempeño; a un deficiente nivel de Sistema de Control Interno, le corresponde un deficiente nivel de Objetivos de evaluación de desempeño.

En la hipótesis específica 3; se señala que: existe una relación entre la variable Sistema de Control Interno y la dimensión Nuevas tendencias de evaluación del desempeño. Esta hipótesis lo validamos al tener un coeficiente de correlación de Pearson equivalente a 0,437 (tabla 13), que refleja una correlación positiva moderada; es decir a un buen nivel de Sistema de Control Interno, le corresponde un buen nivel de Nuevas tendencias de evaluación del desempeño; a un deficiente nivel de Sistema de Control Interno, le corresponde un deficiente nivel de Nuevas tendencias de evaluación del desempeño.

En la hipótesis específica 4; se señala que: existe una relación entre la variable Sistema de Control Interno y la dimensión Métodos de evaluación del desempeño. Esta hipótesis lo validamos al tener un coeficiente de correlación de Pearson equivalente a 0,486 (tabla 13), que refleja una correlación positiva moderada; es decir a un buen nivel de Sistema de Control Interno, le corresponde un buen nivel de Métodos de evaluación del desempeño; a un deficiente nivel de Sistema de Control Interno, le corresponde un deficiente nivel de Métodos de evaluación del desempeño.

En la hipótesis específica 5; se señala que: existe una relación entre la variable Sistema de Control Interno y la dimensión Factores de evaluación de desempeño. Esta hipótesis lo validamos al tener un coeficiente de correlación de Pearson equivalente a 0,437 (tabla 13), que refleja una correlación positiva moderada; es decir a un buen nivel de Sistema de Control Interno, le corresponde un buen nivel de Factores de evaluación de desempeño; a un deficiente nivel de Sistema de Control Interno, le corresponde un deficiente nivel de Factores de evaluación de desempeño.

En la hipótesis específica 6; se señala que: existe una relación entre la variable Evaluación del Desempeño y la dimensión Ambiente de control. Esta hipótesis lo validamos al tener un coeficiente de correlación de Pearson equivalente a 0,497 (tabla

14), que refleja una correlación positiva moderada; es decir a un buen nivel de Evaluación del Desempeño, le corresponde un buen nivel de Ambiente de control; a un deficiente nivel de Evaluación del Desempeño, le corresponde un deficiente nivel de Ambiente de control.

En la hipótesis específica 7; se señala que: existe una relación entre la variable Evaluación del Desempeño y la dimensión Evaluación de riesgo. Esta hipótesis lo validamos al tener un coeficiente de correlación de Pearson equivalente a 0,454 (tabla 14), que refleja una correlación positiva moderada; es decir a un buen nivel de Evaluación del Desempeño, le corresponde un buen nivel de Evaluación de riesgo; a un deficiente nivel de Evaluación del Desempeño, le corresponde un deficiente nivel de Evaluación de riesgo.

En la hipótesis específica 8; se señala que: existe una relación entre la variable Evaluación del Desempeño y la dimensión Actividades de control. Esta hipótesis lo validamos al tener un coeficiente de correlación de Pearson equivalente a 0,526 (tabla 14), que refleja una correlación positiva moderada; es decir a un buen nivel de Evaluación del Desempeño, le corresponde un buen nivel de Actividades de control; a un deficiente nivel de Evaluación del Desempeño, le corresponde un deficiente nivel de Actividades de control.

En la hipótesis específica 9; se señala que: existe una relación entre la variable Evaluación del Desempeño y la dimensión Información y comunicación. Esta hipótesis lo validamos al tener un coeficiente de correlación de Pearson equivalente a 0,280 (tabla 14), que refleja una correlación positiva baja; es decir a un buen nivel de Evaluación del Desempeño, le corresponde un buen nivel de Información y comunicación; a un deficiente nivel de Evaluación del Desempeño, le corresponde un deficiente nivel de Información y comunicación.

Existe una relación entre la variable Evaluación del Desempeño y la dimensión Actividades de supervisión del control interno. Esta hipótesis lo validamos al tener un coeficiente de correlación de Pearson equivalente a 0,503 (tabla 14), que refleja una correlación positiva moderada; es decir a un buen nivel de Evaluación del Desempeño, le corresponde un buen nivel de Actividades de supervisión del control interno; a un deficiente nivel de Evaluación del Desempeño, le corresponde un deficiente nivel de Actividades de supervisión del control interno.

Asimismo, observamos que, en relación a la dimensión ambiente de control, se obtienen una media aritmética de que demuestran que 26 funcionarios y directivos que representa el 52% perciben deficiente. Estos resultados se contrastan con lo señalado según CGR, donde menciona al conjunto de normas, procesos y estructuras que sirven de base para llevar a cabo el adecuado Control Interno en la entidad.

hace saber que esta evaluación es una apreciación sistemática de cómo cada persona se desempeña en un puesto y de su potencial de desarrollo futuro.

CONCLUSIONES

1. La evaluación de los equipos de carguío y acarreo de relaves se llevó a cabo mediante 16 volquetes y 5 excavadoras lo cual se llevó a cabo en tres etapas; el diagnóstico, la mejora y resultados de la mejora, tomando como referencia los estándares establecidos por la empresa, estándares de utilización de equipo 85 %, disponibilidad mecánica 95 % para ambos equipos, rendimiento excavadoras 55.81m³/hr, volquetes 13.80 m³/hr.
2. Se pudo determinar los tiempos improductivos generados tanto en el carguío y en el acarreo generados por factores, resaltando los más notables las condiciones climáticas, trabajo de los topógrafos, pisos irregulares, mantenimiento de vías, condiciones operativas, gestión administrativa; superando en parte mediante propuestas de mejoras y control de actividades.
3. La evaluación comparativa de **los tiempos improductivos** totales arrojó una reducción significativa tras la implementación de las mejoras. Para los equipos de carguío, el tiempo improductivo acumulado disminuyó de 201.65 horas en los meses de junio, julio y agosto a 65.69 horas en el período de setiembre a noviembre. De manera similar, en los equipos de acarreo se registró una disminución sustancial, pasando de 700.25 horas en la etapa inicial a 314.64 horas en los meses posteriores a las intervenciones. Esta reducción cuantitativa evidencia la efectividad de los controles operativos establecidos para mitigar las causas de demora identificadas en el análisis inicial.
4. El porcentaje de la **utilización de los equipos** de carguío y acarreo mostro los resultados siguientes: en los equipos de carguío en la primera etapa fue 73.22 % no alcanzando al estándar establecido (85%), luego de las mejoras realizadas se llegó a 82.39 % cerca al estándar. Referente a los equipos de acarreo se tuvo en la primera etapa 80.69 %, en la segunda etapa (setiembre, octubre y noviembre se llegó a 83.61 % debido a los mejoras y controles realizados.

5. El **rendimiento de los equipos de carguío y acarreo**, para los equipos de carguío durante los meses de junio a agosto fue de 45.10 no llegando al estándar (55.81 m³/hr), después de las mejoras realizadas en los meses de setiembre a noviembre se superó el estándar llegando a 57.35 m³/hr. En cuanto a los equipos de acarreo en los meses de junio a agosto se tuvo 11.87 m³/hr no llegando al estándar (13.80 m³/hr), después de implementar mejoras al sistema se llegó a 15.26 m³/hr.

RECOMENDACIONES

Con base en los hallazgos y conclusiones del presente estudio, se formulan las siguientes recomendaciones para la mejora continua de las operaciones:

1. Monitoreo Continuo de Indicadores de Gestión de Tiempos:

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo y evaluación periódica de los indicadores clave de gestión de tiempos (disponibilidad, utilización, demoras) en los procesos de carguío y acarreo. Este seguimiento sistemático permitirá identificar de manera oportuna la aparición de nuevas demoras o el repunte de tendencias negativas, facilitando la toma de decisiones correctivas inmediatas y asegurando el cumplimiento de los avances programados.

2. Diagnóstico y Optimización del Programa de Mantenimiento de la Flota:

Es necesario realizar una auditoría y diagnóstico exhaustivo del programa de mantenimiento preventivo y correctivo aplicado a los equipos de carguío y acarreo. El objetivo es evaluar su efectividad, ajustar las frecuencias de mantenimiento según las condiciones reales de operación y optimizar los procedimientos para minimizar los tiempos de parada. Esto reducirá las horas no programadas dedicadas a mantenimiento, incrementando la disponibilidad mecánica y la confiabilidad operativa de la flota.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCON, H. (2020). *EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MINERAL EN MINAS DE BLOCK CAVING MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS*. [tesis de Maestro Universidad de Chile] repositorio institucional Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- BAENA , G. (2017). Metodología de la investigación. En G. E. PATRIA (Ed.).
- BERNAL, C. (2010). *Metodología de la investigación* (Tercera edición ed.). (P. Educación, Ed.)
- DE LA CRUZ , A. (2021). “*OPTIMIZACIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE MINERAL Y DESMONTE CON VOLQUETES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS EN LA ECM AMERICAN RENT A CAR – U.P. SAN CRISTOBAL YAULI LA OROYA 2021*”. [tesis de licenciamento Universidad Nacional del Centro del Perú] repositorio institucional Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo - Perú.
- El Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS). (2010). *herramientas de prevención de riesgos laborales para pymes*.
- ESPINOZA, LOPEZ, J. (2023). *Análisis de los indicadores de rendimiento en equipos de carguío para la reducción de costos de acarreo en la Unidad Minera Cerro Lindo, 2023*. [tesis de licenciamento Universidad Continental] repositorio institucional Universidad Continental, Huancayo - Perú.
- HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, R. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta edición ed.). (M. e. S.A., Ed.)
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MEM). (2017). Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería , D.S. N° 024-2016-EM, MODIFICADO POR D.S. N° 023-2017-EM.
- Ministerio de energía y minas (MINEM) . (2016). Decreto Supremo N° 024-2016. Lima.

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. (2012). *D.S. 005-2012-TR. Reglamento de la Ley N°29783. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.*

Q. R. (2021). “*EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA MINA SUBTERRÁNEA-PATAZ LA-LIBERTAD-2021*”. [tesis de licenciamiento Universidad Privada del Norte] repositorio institucional Universidad Privada del Norte, Cajamarca - Peru.

R. A. (2021). *Evaluación de equipos de carguío y transporte de mineral para el cálculo óptimo del número de camiones, Minera San Cristóbal S.A.A.* [tesis de licenciamiento Universidad Continental] repositorio institucional Universidad Continental, Huancayo - Peru.


SANCHEZ, REYES, H. (2006). *Metodología y Diseños en la Investigación Científica.* (E. V. Universitaria, Ed.) Lima.

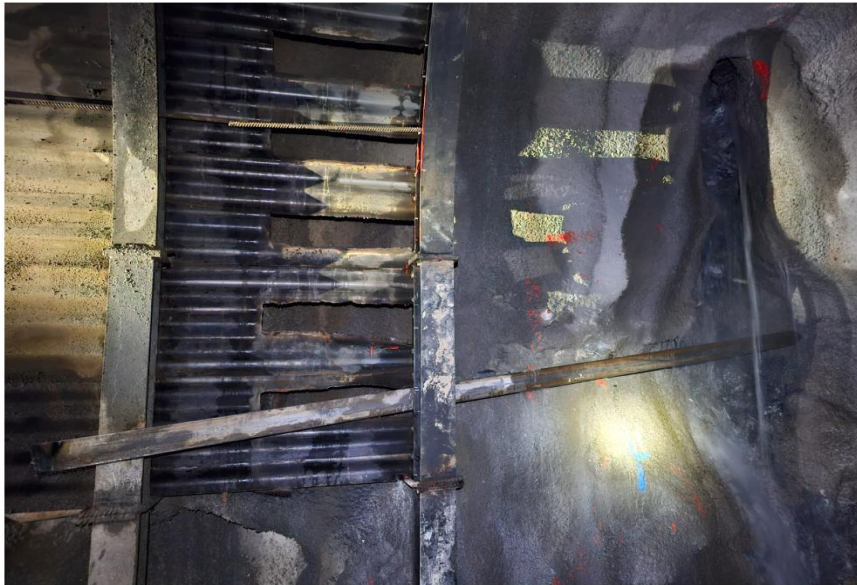
SANCHEZ, REYES, MEJIA, H. (2018). *Manual de terminos de investigacion científica, tecnologica y humanistica.* Lima.

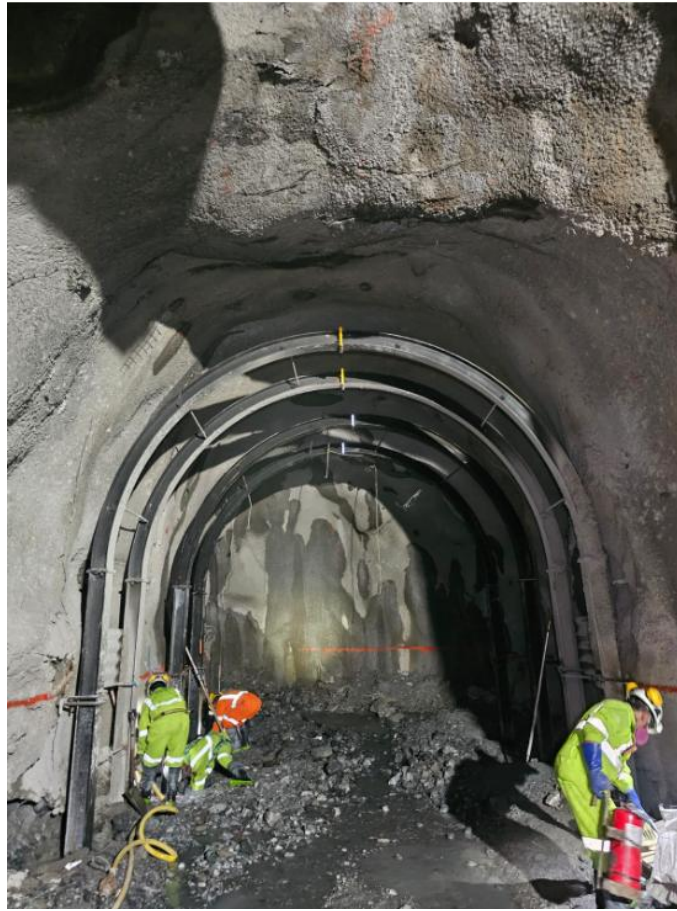
SUPO, CAVERO, F. (2014). *FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y PROCEDIMENTALES DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN CIENCIAS SOCIALES.* (E. Universitario, Ed.)

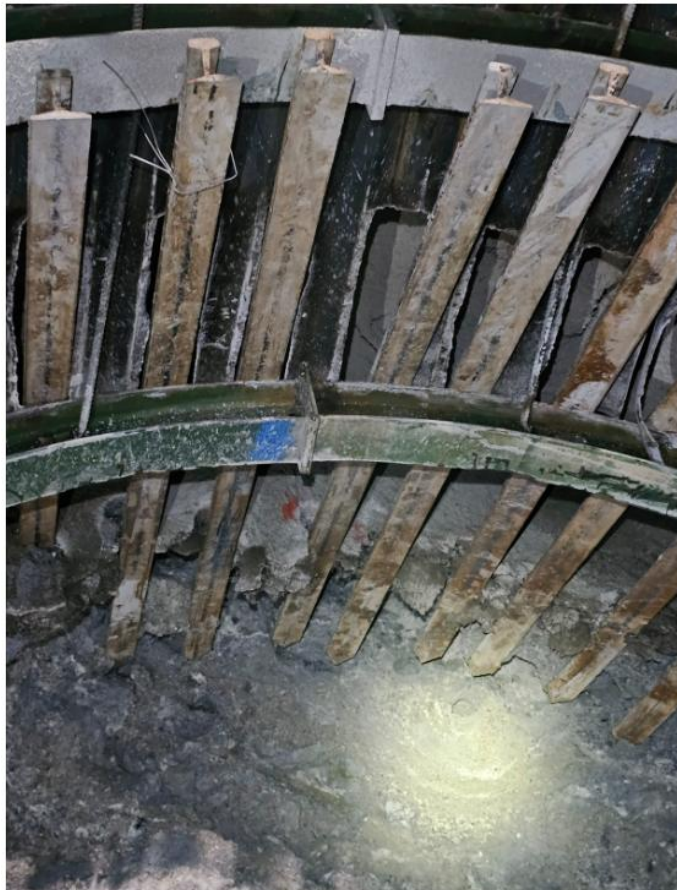
ANEXOS

Instrumentos de Recolección de datos

FORMATO DE PRUEBA DE PULL TEST (PERNOS OMEGA BOLT)			
 <p>VOLCAN VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.</p>	ÁREA DE GEOMECHANICA		
	RESPONSABLE GEOMECÁNICA:		
NIVEL		Cuerpo/Veta	
LABOR		P. Referencia	
FECHA		Litología	
PRUEBA N°27			
HASTIAL		IZQUIERDO	
COORDENADAS (X)			
COORDENADAS (Y)			
ALTITUD (Z)			
RMR			
Tipo de perno			
MORTERO			
DIAMETRO BROCA (mm)			
Lectura	Carga (PSI)	Carga (Ton.)	Elongación (mm)







MATRIZ DE CONSISTENCIA

EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE CARGUIO Y TRANSPORTE DE RELAVES PARA MEJORAR LA PRODUCCION EN VOLCAN COMPAÑÍA MINERA – UNIDAD CHUNGAR				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>Problema general ¿Cómo podemos evaluar el rendimiento del carguío y transporte de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay?</p> <p>Problemas específicos Problema específico a ¿Cómo podemos evaluar el rendimiento del carguío de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay?</p> <p>Problema específico b ¿Cómo podemos evaluar el rendimiento del transporte de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay?</p>	<p>Objetivo general Evaluar el rendimiento del carguío y transporte de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay.</p> <p>Objetivos específicos Objetivo específico a Evaluar el rendimiento del carguío de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay.</p> <p>Objetivo específico b. Evaluar el rendimiento del transporte de la mezcla de relave y desmonte en los trabajos que realiza la contrata ECOM – San Juan de Huayllay.</p>	<p>Hipótesis General Al evaluar los procesos de carguío y transporte de relaves es factible y viable mejorar la producción en estos procesos, en Volcán Compañía Minera – Unidad Chungar.</p> <p>Hipótesis específicas Hipótesis específica a Al evaluar el proceso de carguío de relaves es factible y viable mejorar la producción en este proceso, en Volcán Compañía Minera – Unidad Chungar.</p> <p>Hipótesis específica b Al evaluar el proceso de transporte de relaves es factible y viable mejorar la producción en este proceso, en Volcán Compañía Minera – Unidad Chungar.</p>	<p>Identificación de variables Variables para la hipótesis general Variable independiente Proceso de carguío y transporte Variables para la hipótesis específicas Mejora de la producción Variables para la hipótesis específica a Variable independiente Proceso de carguío Variables para la hipótesis específicas Mejora de la producción Variables para la hipótesis específica b Variable independiente Proceso de transporte Variables para la hipótesis específicas Mejora de la producción</p>	<p>-Tipo de I. aplicativo. -Nivel de I. Descriptivo, Diseño de I. no experimental muestra La muestra está constituida por 10 volquetes de transporte y 2 equipos de carguío que se utilizan en Volcán Compañía Minera – Unidad Chungar,</p>