



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

Reducción de demoras en los ciclos de carguío y acarreo y mejoras de la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca, 2021

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera de Minas

AUTOR

Raquel TUPAC YUPANQUI RIVERA

ASESOR

Víctor Hugo RAMIREZ PONCE

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Tupac Yupanqui, R. (2025). *Reducción de demoras en los ciclos de carguío y acarreo y mejoras de la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca, 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Raquel Tupac Yupanqui Rivera
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74462687
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-1979-6430
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Ing. Victor Hugo Ramirez Ponce
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06163701
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-1363-8890
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Dr. Jorge Enrique Soto Yen
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	03493146
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Mg. Mariano Pacheco Ortiz
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06284228
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Ing. Abdel Alberto Arroyo Aguilar
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07064557

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.4.30. Gestión Minera
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Tacna Provincia: Tacna Distrito: Palca Latitud: -17.818767 Longitud: -69.808241
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2024 - 2025
URL de disciplinas OCDE	Otras ingenierías y tecnologías https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.02 Minería, Procesamiento de minerales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú - Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

En el auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el lunes 13, de octubre del 2025 siendo las 15:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Dr. JORGE ENRIQUE SOTO YEN
Mg. MARIANO PACHECO ORTIZ
Ing. ABDEL ALBERTO ARROYO AGUILAR

(PRESIDENTE)
(SECRETARIO)
(MIEMBRO)

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS Titulada: "*Reducción de demoras en los ciclos de carguío y acarreo y mejoras de la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca, 2021*" presentada por Doña: **RAQUEL TUPAC YUPANQUI RIVERA**, Bachiller en Ingeniería Minas, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero de Minas.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

Concluida la Sustentación de Tesis, el Jurado procedió a evaluar y calificar según el reglamento vigente, cuyo resultado fue la nota de: 17 (Diecisiete).

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**, a Doña: **RAQUEL TUPAC YUPANQUI RIVERA**.

Siendo las 16:00 horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (5) Actas Originales de la Sustentación de Tesis.

Lima, 13 de octubre del 2025


Dr. JORGE ENRIQUE SOTO YEN
Presidente


Mg. MARIANO PACHECO ORTIZ
Secretario


Ing. ABDEL ALBERTO ARROYO AGUILAR
Miembro


Ing. VICTOR HUGO RAMIREZ PONCE
Asesor de Tesis



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE

SAN MARCOS

Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1
CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **VICTOR HUGO RAMIREZ PONCE** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la EP N° **000003-2025-EPIMI-FIGMMG/UNMSM** de la tesis, cuyo título es **“Reducción de demoras en los ciclos de carguío y acarreo y mejoras de la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca, 2021”** presentado por la bachiller Raquel Tupac Yupanqui Rivera para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 7% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título profesional de Ingeniero de Minas.

Lima, 01 de octubre de 2025

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: Víctor Hugo Ramírez Ponce

DNI: 06163701

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

RESUMEN

Este presente estudio tuvo como objetivo implementar métodos de reducción de las principales demoras significativas en los ciclos de acarreo mediante un análisis detallado de las mismas, buscando mejorar la eficiencia operacional en la UM Pucamarca. Su metodología empleada fue de alcance correlacional, tipo cuantitativo y diseño no experimental longitudinal, teniendo como población a los ciclos de acarreo y su muestra fueron la flota de acarreo (7 camiones). Sus resultados indican que la principal demora operacional en ciclos acarreo fue el Refrigerio-Descanso que representa el 43.8% del total de demoras, de tal manera que con los cálculos del KPI se obtuvo una eficiencia operacional de 84.4% para los camiones de la flota de acarreo. Además, se utilizó tres métodos de alternativas de mejoras como el diagrama de Pareto, modelo de tiempos-ASARCO y diagrama de Ishikawa. Concluyendo que en cuanto a las principales demoras significativas de carguío y acarreo se reducen según a la implementación de métodos de reducción, con el propósito de mejorar la eficiencia operacional de equipos de la UM Pucamarca.

Palabras claves: Demoras operativas, carguío y acarreo, eficiencia, KPI, métodos de reducción.

ÍNDICE

CAPÍTULO I:	9
1. INTRODUCCION	9
1.1. Introducción	9
1.2. Planteamiento del problema	10
1.3. Objetivos de la investigación	11
1.4. Importancia y alcance de la investigación	11
CAPITULO II:	12
2. MARCO TEORICO	12
2.1. Antecedentes de la investigación	12
2.2. Bases teóricas	22
2.2.1. Geología del Yacimiento Minero	22
- Geología Regional	22
- Geología Local	23
- Mineralización	25
2.2.2. Características Generales de la Operación	26
2.2.3. Operaciones Unitarias de Extracción en mina Pucamarca	27
- Operación Unitaria de Carguío	27
- Equipos de Carguío	28
- Operación Unitaria de Acarreo	30
- Equipos de Acarreo	30
2.2.4. Sistema de Gestión de Flotas	31
2.2.5. Sistema Wenco International Mining Systems	33
- Generalidades del Sistema	33
- Componentes Hardware y Software	33

- Aplicaciones del Sistema Wenco.....	34
- Perfiles de Usuarios del Sistema	36
- Ciclo Operativo de Carguío y Acarreo del Sistema Wenco International Mining Systems	37
2.3. Definición de términos.....	40
2.3.1. Modelo de tiempos – ASARCO.....	40
2.3.2. Indicadores KPI.....	41
2.3.3. Diagrama de Pareto	45
2.3.4. Diagrama de Ishikawa	46
2.3.5. Métodos de reducción de demoras de carguío y acarreo.....	47
CAPITULO III:	48
3. HIPOTESIS Y VARIABLES.....	48
3.1. Las hipótesis	48
3.2. Las variables	48
3.3. Operacionalización de variables.....	49
CAPITULO IV:.....	50
4. MATERIALES Y METODOS	50
4.1. Área de estudio.....	50
4.2. Diseño de investigación	50
4.3. Población y muestra	51
4.4. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información.....	52
4.5. Análisis estadístico.....	53
CAPITULO V:	54
5. RESULTADOS	54

5.1. Analizar cómo los diagnósticos de las principales demoras operativas en los ciclos de acarreo contribuyen a la mejora en la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.....	54
5.2. Evaluar cómo el impacto de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo afecta a la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.	59
5.3. Determinar cómo las implementaciones de controles para reducir las demoras en los ciclos de acarreo contribuyen a la mejora en la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.	61
6. DISCUSIÓN	83
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
7.1. Conclusiones.....	87
7.2. Recomendaciones.....	88
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	89
9. ANEXOS.....	97
9.1. Anexo 1. Matriz de consistencia	97
9.2. Anexo 2. Guía de observación	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Plan de minado aprobado en Mina Pucamarca	26
Tabla 2. Equipos de carguío principal en Mina Pucamarca.....	28
Tabla 3. Equipos de acarreo principal en Mina Pucamarca	30
Tabla 4. Modelo de tiempos – ASARCO	41
Tabla 5. Cálculo de productividad en carguío y acarreo.....	44
Tabla 6. Matriz de operacionalización de variables.....	49
Tabla 7. Tiempos de demoras de acarreo – Enero hasta abril 2021.....	55
Tabla 8. Tiempos de demoras de acarreo – Mayo hasta agosto 2021	56
Tabla 9. Tiempos de demoras de acarreo – Setiembre hasta diciembre 2021	58
Tabla 10. Clasificación de tiempos de la flota acarreo 2021	59
Tabla 11. Cálculo de la eficiencia operacional de la flota acarreo 2021	61
Tabla 12. Principales demoras en Acarreo 2021 (h).....	65
Tabla 13. Inversión en personal adicional en el servicio de alimentación.....	74
Tabla 14. Cálculo de tiempo Refrigerio-Descanso a la semana en Turno Día	76
Tabla 15. Cálculo de tiempo Refrigerio-Descanso a la semana en Turno Noche	76
Tabla 16. Cálculo de tiempo Refrigerio-Descanso	77
Tabla 17. Cálculo de tiempo Cambio Turno en un día para toda la flota de acarreo.....	79
Tabla 18. Cálculo de tiempo Cambio Turno en un año para toda la flota de acarreo.....	80
Tabla 19. Distribución de tiempos Modelo Asarco – Enero a Diciembre 2021	81
Tabla 20. Variación de las principales demoras operativas	81
Tabla 21. Distribución de tiempos Modelo Asarco – Enero a Diciembre 2021	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cargador Frontal 1 realizando carguío en Banco 35, mina Pucamarca	28
Figura 2. Dimensiones Cargador Frontal Caterpillar 993K.....	29
Figura 3. Leyenda de Dimensiones Cargador Frontal Caterpillar 993K	29
Figura 4. Dimensiones Camión Minero Caterpillar 777F	31
Figura 5. Leyenda de Dimensiones Camión Minero Caterpillar 777F	31
Figura 6. Overview del funcionamiento del Sistema Wenco Mining System.....	34
Figura 7. Aplicaciones del Sistema Wenco International Mining Systems.....	35
Figura 8. Ciclo Operativo de Carguío y Acarreo del Sistema Wenco International Mining Systems	37
Figura 9. Configuración de zonas de un equipo de carguío según el Sistema Wenco International Mining Systems	38
Figura 10. Ubicación geográfica Pucamarca	50
Figura 11. Diagrama de Pareto-Tiempo de demoras de acarreo.....	62
Figura 12. Diagrama de Ishikawa 1	63
Figura 13. Diagrama de Ishikawa 2	64
Figura 14. Línea de tiempo Refrigerio-Descanso Actual	66
Figura 15. Refrigerio-Descanso promedio en el periodo Ene-Dic 2021	67
Figura 16. Rotación de personal de todas las guardias para el área de mina.....	67
Figura 17. Línea de tiempo Cambio Turno.....	68
Figura 18. Resumen Estadístico de Tiempos de Refrigerio-Descanso	69
Figura 19. <i>Ubicación de Infraestructura de Cambio de Guardia en Caliente, mina Pucamarca</i>	70
Figura 20. <i>Vista de perfil para Bahías de Cambio de Guardia en Caliente</i>	71
Figura 21. <i>Vista de planta para Bahías de Cambio de Guardia en Caliente</i>	71

Figura 22. <i>Avance de Infraestructura de Cambio de Guardia en Caliente, mina Pucamarca ...</i>	72
Figura 23. <i>Avance de Infraestructura de Cambio de Guardia en Caliente, mina Pucamarca ...</i>	73
Figura 24. Escenario 1: Línea de tiempo Refrigerio-Descanso	75
Figura 25. Escenario 2: Línea de tiempo Refrigerio-Descanso	75
Figura 26. Resumen Estadístico de Tiempos de Cambio Turno.....	77
Figura 27. Línea de tiempo Cambio Turno.....	78
Figura 28. Refrigerio-Descanso promedio en el periodo Ene-Dic 2021	79
Figura 29. Propuesta para nueva rotación de personal	80

CAPÍTULO I:

1. INTRODUCCION

1.1. Introducción

La minería consta de una actividad económica encargada de realizar actividades como explotar y extraer recursos minerales del subsuelo, Las operaciones realizadas mediante minado superficial, generalmente son de gran producción, utilizando para ello equipos de alta capacidad. Estos esencialmente, deben ser capaces de cargar y acarrear importantes volúmenes de material fragmentado por la voladura (Díaz & Medina, 2020).

El carguío y acarreo de materiales en minería son las actividades unitarias más representativas en el ciclo de minado. Por lo cual las capacidades de los equipos empleados han ido aumentando con el tiempo en tamaño y escala y su automatización se ha convertido en el objetivo esencial. Sin embargo, existen pocas aplicaciones de las mismas en mediana minería.

Por lo cual la investigación busca elevar el rendimiento del sistema de acarreo y transporte en la unidad minera Pucamarca, con el propósito de reducir las demoras en los ciclos de acarreo, para así incrementar la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

1.2. Planteamiento del problema

Descripción del problema

Los gastos vinculados con las actividades unitarias de carguío y acarreo en la minería superficial representan entre el 50% y el 60% de los gastos operativos radicales del proceso de extracción (Alarie & Gamache, 2002). Por lo tanto, un análisis y reducción de los tiempos muertos en las fases de traslado puede aumentar considerablemente el desempeño operativo de los equipos, lo que a su vez podría traducirse en un incremento de los ingresos económicos para la empresa.

Formulación del problema

Problema General

¿Cómo impacta la reducción de demoras en los ciclos de carguío y acarreo en la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca?

Problemas Específicos

¿De qué manera el diagnóstico de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo mejora de la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca, 2021?

¿De qué manera el impacto generado por las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo mejora la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca, 2021?

¿De qué manera la implementación de controles para reducir las demoras en los ciclos de carguío y acarreo mejora la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca, 2021?

1.3. Objetivos de la investigación

Objetivo General

Evaluar cómo la reducción de las demoras en los ciclos de carguío y acarreo impacta la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

Objetivos Específicos

Analizar cómo el diagnóstico de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo contribuye a la mejora en la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

Evaluar cómo el impacto de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo afecta a la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

Determinar cómo la implementación de controles para reducir las demoras en los ciclos de carguío y acarreo contribuye a la mejora en la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

1.4. Importancia y alcance de la investigación

Es primordial lograr reducir las demoras operativas del proceso de explotación, para así incrementar el tiempo efectivo de trabajo en los equipos mineros por cada turno. Lo cual permitirá mejorar los ingresos económicos para la unidad minera.

El alcance de la investigación está enfocado en reducir los tiempos de los retrasos funcionales más notorios, para así incrementar la eficacia en el funcionamiento de los equipos mineros de Pucamarca.

CAPITULO II:

2. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

La eficiencia operacional en las funciones mineras es crucial para la productividad y el equilibrio ambiental del ámbito minero. Los ciclos acarreo, en particular, son una parte importante del proceso de extracción, y la demora en estos ciclos puede tener un efecto importante tanto en la inversión y output operativo general de la mina.

Entre los antecedentes internacionales:

Mnzool, Almujibah, Bakri, Gaafar, Elhassan y Gomaa (2024) en su artículo “Optimization of cycle time for loading and hauling trucks in open-pit mining” cuyo objetivo es Brindar estrategias que permitan optimizar los períodos durante los ciclos de cargue y traslado, con la intención de potenciar el desempeño productivo y disminuir gastos en las actividades mineras. El estudio es aplicado, dado que plantea estrategias para refinar la productividad de las operaciones mineras. Según el nivel se clasificaría sin manipulación experimental transversal, dado que no interviene sobre las variables de forma activa, en la cual solo recopila datos en un periodo de tiempo. La muestra que exponen los autores, son todos los ciclos de carguío de la empresa Bisha Mining Share Company, Eritrea, en el periodo de marzo de 2017, que fue recolectada base de datos de la mina, brindada por los supervisores de mina, planificadores mineros, así como también

los operadores de equipos. En sus resultados obtienen que el tiempo real de carguío en excavadora de 3.98 min y 2.92 min para el caso de la pala. Con lo cual se determina un tiempo óptimo en carguío de 2.98 y 2.42 min respectivamente. Finalmente concluyen que la productividad real es afectada principalmente por el tiempo de espera, ya que en el análisis un aumento del 10% en la espera reduce en un 2.5% dicha productividad.

Kuznetsov y Kosolapov (2022) en su investigación “Dynamic of performance of open-pit dump trucks in ore mining in severe climatic environment” dirigido a precisar la relación entre los puntos críticos en el desempeño de los camiones en condiciones climáticas adversas. La indagación se clasifica como aplicada, puesto que plantea estrategias para optimizar el rendimiento de los camiones mineros dentro de escenarios específicos. Según el nivel se clasificaría como experimental, ya que simula diversos escenarios en los cuales la eficiencia se ve afectada. La muestra comprende datos de los resultados de estudios previos de Kuztenov (2016) y especificaciones de diferentes marcas de camiones mineros. El sistema para la obtención de datos aplicada abarca análisis bibliográfico de artículos científicos previos y fichas técnicas de los equipos mineros empleados con frecuencia. Como resultado obtenido se obtienen escenarios en los cuales factores como la longevidad y la estabilidad de los camiones, la distancia de transporte, la pendiente y el estado de las vías, el esquema de ciclo operativo y la determinación de las maquinarias de carguío, así como aspectos meteorologías; impactan la eficacia en la operación de los aparatos. En conclusión, los modelos de camiones mineros empleados actualmente consideran en sus especificaciones técnicas la incidencia de las inclemencias del tiempo. Por lo cual propone revisar los escenarios calculados para la toma de decisiones.

Moniri-Morad, Pourgol, Aghababaei y Sattarvand (2019) en su artículo “A methodology for truck allocation problems considering dynamic circumstances in open pit mines, case study of the Sungun copper mine” tuvieron como meta elaborar un método de optimización según simulaciones discretas para el reparto de camiones. Este documento es de tipo aplicada, por buscar resolver el problema de las asignaciones en una faena minera. Según su nivel se clasificaría como experimental, ya que realiza simulaciones a fin de generar un modelo de asignaciones efectivas. Emplean la información registrada del mecanismo de carguío-acarreo de Sungun, obtenido de la contratista que opera la logística de carguío-acarreo de la mina de cobre Sungun. Como resultado de las simulaciones, genera cuatro escenarios de trabajo en los cuales identifica la utilización, tiempos de cola de los camiones e intervalo de pausa de los equipos de elevación mínimos para poder obtener una mejor eficiencia operacional. Concluye la aplicación del modelo propuesto permitirá mejorar la eficiencia del proceso. Además, permitirá analizar detalles como el uso de maquinaria, los plazos de cola de los camiones, así como también espera de los equipos de carguío.

Liu, y Chai (2019) en su investigación “Optimizing Open-Pit Truck Route Based on Minimization of Time-Varying Transport Energy Consumption” busca optimizar las rutas de camiones en minas expuestas con base en minimizar el consumo de energía del transporte que varía en el tiempo, buscando reducir los desembolsos. Este documento es de tipo aplicada, por su enfoque en resolver el problema de las asignaciones en una gestión minera. Según su nivel se clasificaría como experimental, ya que realiza simulaciones a fin de generar un modelo de optimización. Velocidad de conducción, límites de velocidad de conducción, cantidad de residuos acumulados en las vías, intervalo de ejecución de

mantenimiento de vías en minas expuestas Zhahanaoer. La cual se obtuvo de un análisis de las condiciones de vías en la mina Zhahanaoer, para su posterior categorización. En hallazgos formulo un modelo de sistema entera mixta, para la estimación y cálculo de parámetros variables en el tiempo. Concluyen que el problema de optimización de rutas de camiones en minas espuestas bajo la influencia de la fluctuación en la resistencia a la rodadura fue resuelto con el modelo de programación generado por los autores.

Kurniawan, Azaria, Alzena y Habib (2019) en su artículo “The Measurement and Improvement of Effectiveness in K-440 Haul Truck Using Overall Equipment Effectiveness in Coal Mining Company” plantea como objetivo determinar la efectividad de camiones de acarreo K-440 basados en el cálculo de la Eficiencia del Equipo (OEE) para conocer los principales factores que causaron las principales detenciones en el acarreo con camiones K-440. El documento es de naturaleza aplicada, al buscar la causa raíz de las principales detenciones en el acarreo con camiones K-440 y mejorar prácticas en el minado de carbón expuesto. Según el nivel estudio es observacional transversal, dado que no controla directamente las variables, en la cual solo recopila datos en un periodo de tiempo. La muestra que abarcan en esta investigación son los tiempos de las detenciones de los camiones K-440 en el periodo 2017-2018 en una empresa minera de carbón en Kalimantan Oriental. Los datos recopilados se obtienen de entrevistas con los subgerentes de planta de una empresa minera de carbón y de observación directa visitando la operación minera en Kalimantan Oriental. En sus resultados, demuestra que la efectividad promedio de los tres camiones de acarreo K-440 aún se encuentran muy por debajo del nivel internacional estándar, siendo un 44.99%, en cuanto al material es significativo factor que causa un OEE, de acuerdo al análisis del diagrama de espina de

pescado; además existen cinco problemas basados en la Prioridad de Riesgo Número (RPN), valor crítico del análisis FMEA, sabiendo que la transmisión no funciona de manera correcta, freno desgastado, eje de la hélice no girado en el eje, freno agrietado, tambor y resorte roto. Concluye proponiendo ocho pilares del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para el principal problema de acarreo K-440 y así mismo realizar cálculos OEE de manera regular la empresa.

Bonzi (2016) en su tesis “Propuestas de mejora de la utilización efectiva en base a disponibilidad de la flota de carguío y transporte en minera Los Pelambres” poseyó la meta de implementar refinamientos operativos con la finalidad alcanzar los alineamientos para incrementar el empleo productivo conforme a la disponibilidad del Caso Base 2015. El documento es tipo aplicada, ya que se centra en mejorar la operación diaria eficiente de carga y traslado en base al análisis del impacto generado por las detenciones. Con ello realiza simulaciones con el software Arena, en distintos escenarios que podrían implementarse de acuerdo a su nivel de significancia. Según el nivel se clasificaría como no experimental longitudinal, ya que como se comentó anteriormente se toma en cuenta el análisis de los datos por un periodo de tiempo sin la alteración de las variables. La muestra que abarcan en esta investigación son los ciclos de acarreo durante el periodo marzo 2013 a marzo 2014, encontrado en Dispatch de una mina en Chile. En sus resultados obtiene que un escenario combinado de parqueo de camiones cargados en los cambios de turno sumado a emplear parqueos a distancias cortas de la chancadora, permitiría una elevación de 4.2% en la labor diaria y una disminución de 10.6% de los paros, con lo cual se generaría una elevación económica de 4.07 MUS\$ mensuales. Finalmente concluye que el empleo de métodos de simulación permite generar pruebas

en distintos escenarios sin generar ningún impacto en la realidad, por lo cual resulta beneficioso.

Barrientos (2014) en su tesis “Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto” tiene como meta principal medir la repercusión que implica implementar modificaciones en las operaciones sobre las interrupciones analizadas y el rendimiento diario, con el propósito de identificar la alternativa que genere el mayor beneficio para el sistema. El documento es tipo aplicada, por enfocarse en identificar desafíos operacionales con la finalidad de incrementar su uso real del equipo según su tiempo activo con lo cual establece alternativas de mejora para las áreas de chancado, operaciones y la sala de control. Según el nivel se clasificaría como no experimental longitudinal, ya que implica un análisis de la información de un periodo de tiempo, recopilada de la base de datos del Dispatch y se plantean estrategias de mejora. La muestra de esta investigación son los ciclos de acarreo en plazos desde enero a marzo de 2015 y mayo a agosto de 2015, derivados del registro digital del Dispatch de la unidad minera Los Pelambres en Chile. En sus resultados, identifica que se tienen desafíos operacionales en Chancado, Acarreo, Carguío. Lo cual le permite plantear estrategias de mejora que pueden contribuir a la disminución de las distintas demoras operativas.

Entre los antecedentes nacionales, tenemos:

Alamas y Lizana (2021) en su documento “Optimización de su ciclo de minado para su disminución de costos en la Cantera RB, Ferreñafe.”, dirigido a la optimización del ciclo minero para disminuir sus gastos en la cantera RB. En sus resultados, demostró que la reorganización del ciclo de extracción permitió disminuir gastos, al implementar nuevos

lineamientos que mejoraron el control económico dentro de las actividades desarrolladas en la cantera. Además que su proceso actual que incluye la remoción directa del material, su carga y transporte muestra deficiencias en la gestión del volumen removido por jornada, ya que el 40% del personal operativo señaló que no existe una coordinación adecuada entre las maquinarias de carguío y los vehículos de transporte, lo cual se refleja en el intervalo excesivo de viajes necesarios para terminar de cargar los camiones. Concluyeron, que sus costos mensuales en la cantera RB ascendían a S/. 126,688.88, totalizando anualmente S/. 1,520,266.56. Sin embargo, con las mejoras implementadas, los costos mensuales se proyectaron en S/. 94,288.88 y los anuales en S/. 1,131,466.50, lo que implicó un ahorro mensual de S/. 32,400.00.

Salgado y Núñez (2021) en su investigación “Mejoramiento de gestión de esta productividad de su flota de carguío y acarreo U.M Cuajone, a través de la aplicación de esta metodología Six Sigma para reducir sus lapsos inactivos el cambio de turno del operador” se trazó como objetivo reducir sus plazos no operativos asociadas al cambio de turno de los operadores expertos en maquinaria de carga y traslado minero. Sus hallazgos, demostraron que se incrementó su producción de arranque, optimizó y automatizó en cuanto al inicio de estas operaciones, reduciendo las demoras operativas en su relevo del personal, incrementando su disponibilidad física con respecto a la cantidad de excavadoras y camiones en 2.5%, el empleo de excavadoras un 1.6% y el uso de camiones un 1.4%. Concluyendo que esta implementación en cuanto al módulo nuevo en su procesamiento de cambio de turnos del personal, el sistema JigSaw ha automatizado la gestión de labores del grupo de supervisores, exceptuando los trabajos manuales; mediante este nuevo componente, se simplificó la transición entre personal, ya que

estaban familiarizados con la localización exacta de las Vans y el horario establecido para su salida.

Chavez (2023) en su tesis “Estudio de las demoras operativas de la flota de acarreo en minas a tajo abierto para incrementar la productividad de la operación” establece como objetivo el evaluar un incremento para minimizar los retrasos en las operaciones de la flota de transporte en minas expuestas. En lo cual plantea 3 escenarios de mejora. En sus resultados, obtiene mejoras para los 3 escenarios propuestos. En el caso del retraso debido a la falta de conductor que es el primer escenario un incremento en 3.81% de su utilización, con la contratación de 8 operadores adicionales. Respecto a la demora de Cambio Turno genera un incremento en 2.60% de su utilización, ya que aplican como estrategia remunerar un 75% más al valor de la hora extra al personal que realice sobretiempo hasta que la guardia entrante llegue a la operación. Finalmente, para la demora Refrigerio-Descanso genera un incremento en 0.46% de su utilización, aplicando el refrigerio para el turno día en los equipos asignados. Concluyendo que esta implementación de nuevas estrategias genera un incremento en la productividad de un 13%.

Hinojosa (2022) en su tesis “Incremento de la productividad de flota de camiones mineros mediante implementación de bahías de cambio en caliente en la Mina Constancia - Cusco” se planteó como propósito calcular el aumento en la eficiencia de extracción mineral y desmonte a través de la creación de áreas cambiantes en operación continua en la Mina Constancia HUDBAY – Cusco. En sus resultados obtiene una mejora de 96.64% a 95.38% en el rendimiento técnico del sistema de transporte pesado mediante la creación de la estrategia de zonas cambiantes en funcionamiento continuo. Asimismo, se calcula

el tiempo promedio necesario para realizar transferencias de guardia de 1.11 h que inicialmente era de 1.52 h en promedio. Con lo cual concluye que la productividad alcanzada en minería y desmonte fue de 11,756.35 Tn/día.

Cárdenas (2022) en su investigación “Optimización de su productividad de estos equipos de carguío y acarreo en CÍA. Cárdenas S.R.L. a través de estos ítems primordiales laborales – 2019”, se trazó la meta de mejorar la eficiencia maquinaria de carga y transporte por medio del uso de ítems primordiales de rendimiento. En hallazgos, lograron aumentar la productividad de las maquinarias en la empresa, alcanzando una mayor disponibilidad mecánica y optimizando su desempeño.; adquiriendo una operación del equipo de carga fue 75% y 76%, porcentaje de utilización fue 82% y 85%, asimismo optimizando la eficiencia de las máquinas de transporte en su organización, fue evaluada mediante ítems clave de rendimiento, logrando que su tasa de disponibilidad laboral sea un 70%, 71%, 72% y 70%. Concluyó que su % de utilización es de 75%, 78%, 77% y 76%, cifras muy realistas considerando las características del trabajo y las condiciones del entorno. Además, se determinaron gastos de carga mejoradas, promediando aproximadamente 41.75 dólares por hora, mientras que el gasto total de estos camiones fue de 41.875 dólares estadounidenses.

Aguilar (2020) en su estudio “Disminución de costo de acarreo y transporte de mineral a través de su aplicación de indicadores de desempeño KPIs en U.M. Sumaq Rumi”, se trazó como propósito minimizar los gastos relacionados con el traslado y movimiento del material mineralógico a través de su aplicación de indicadores laborales KPIs. En sus resultados, demostró que los KPIs han permitido la disminución de estos rendimientos y costos, actuando como rangos aceptables para el manipulador del equipo, quien ha

prolongado sus intervalos efectivos de actividad por ciclo de 6.3 a 8.0 horas. Las interrupciones operativas se redujeron de 1.73 a 1.33 horas, los periodos sin productividad se mantuvieron en un nivel mínimo de 0.07 horas, y finalmente, los tiempos considerados aceptables se redujeron de 1.08 a 0.95 horas por ciclo. Llegando a la conclusión, su gasto de transporte en el Scoop R1300G-1 bajó de 2.44 a 1.99 dólares por tonelada métrica, mientras que en el Scoop R1300G-2 disminuyó de 1.96 a 1.50 dólares por tonelada métrica. Estos cambios son significativos, considerando las condiciones mineras y las maquinarias de transporte. Su empleo efectivo disminuyó un 70% a más del 84%. Todo esto se los KPIs su uso optimizó las operaciones mineras.

Villar (2020) en su investigación “Utilización de sistemas expertos en su ciclo de carguío y acarreo e influencia en su proceso de mejoramiento continuo y gestión de costos operativos” se planteó como propósito estudiar la influencia tecnológica en estos sistemas permitió a especialistas monitorear y evaluar en forma inmediata los parámetros primordiales de procedimiento. En sus resultados, encontró una tendencia a la disminución con respecto a los tiempos de operación de los operadores, junto con una mayor tasa de aprovechamiento. Aproximadamente el 75% de los casos analizados pueden considerarse exitosos. En definitiva, se comprobó que la incorporación de tecnología impacta directamente en la optimización del procedimiento de carga, mejorando la utilización de recursos, permitiendo la medición y supervisión precisas, y fomentando la mejora continua, lo que favorece una administración más efectiva en gastos laborales de carguío y transporte.

Chura (2018) en su tesis “Reducción de demoras operativas por cambio de turno con la implementación de módulo de cambio de guardia en la Unidad Minera Cuajone” se

planteó como objetivo implementar el módulo de Turno Alterno para disminuir retrasos operativos y maximizar la eficiencia durante la primera hora de servicio. En sus resultados se observa que el tiempo empleado para el cambio de guardia inicialmente era de 30 horas/guardia, pero al añadir la sistematización se logró un tiempo de 23 horas/guardia, las toneladas producidas la primera hora de guardia se incrementaron de 7,317 ton a 10,609 Ton. Por lo cual concluye que una sistematización en el cambio de guardia permite reducir en 22% las horas empleadas en los cambios de turno y con ello un incremento en la producción horario del 31% en la primera hora de la operación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Geología del Yacimiento Minero

- Geología Regional

El yacimiento minero, en el marco geológico regional, se encuentra emplazado entre secuencias volcánicas que van desde el cretácico superior al terciario superior, vulcano-sedimentarias y sedimentarias en la parte más alta, que van del jurásico al cretácico. Tanto la secuencia volcánica como la sedimentaria presenta zonas de intrusión de diques granodioríticos a dioríticos, las cuales se asocian a etapas periféricas del batolito costero. Supra yaciendo a estos se depositaron de manera discontinua mantos aluviales, coluviales y fluvio-glaciares, que pertenecen a los sedimentos más actuales.

- **Geología Local**

En el contexto local, los cerros Caldero y el tajo Checocollo, se encuentra la secuencia volcánico-andesítica y dacítica de la construcción Huilacollo, atravesada por intrusiones de pórfido cuarcífero y feldespático. Los volcánicos consisten en andesita, dacita y flows de brechas de flujo, piroclastos, lava, conglomerados y tobas de tamaño robusto; estos presentan una fuerte alteración cloritizada en los alrededores del proyecto. La historia geológica del tajo Checocollo expresa que originalmente ocurrió la incursión de un pórfido cuarcífero que cruzó las formaciones volcánicas, creando varios intervalos litológicos. En un principio, generó un corte hídrico, en forma de cubierta en la sección alta del volcán, y posteriormente ocurrió un vulcanismo hipoabisal, que produjo un conducto volcánico con elevada presencia de vapor durante su progresión. Por esta razón, se creó una red intrincada de fisuras, diques y canales de explosión, incluyendo brechas fragmentadas y otros. Las capas geológicas penetran el sistema siguiendo orientaciones diversas. En el conducto explosivo y sus zonas periféricas, se ha originado un enriquecimiento hidrotermal superficial de elevada oxidación con presencia de oro y plata. Lo minero se presenta como finas disseminaciones de Au y Ag, en el núcleo que conforma la diatrema.

El Cerro Caldero se distingue por contener cuerpos ígneo ricos en feldespatos, que aparece como un cuerpo irregular de forma roscada. La principal característica es la modificación arcillosa suave en la masa rocosa, además se observa una dispersión fina de pirita con contenidos que oscilan entre 1 y 4%, y en ocasiones, se encuentra calcocita y bornita. Estos minerales también aparecen como capas muy delgadas, reemplazando a la pirita. Desde el punto de vista mineralógico, el intrusivo feldespático contiene cristales definidos de plagioclasa andesítica, compuesta por feldespatos y minerales ferromagnesianos. No se detectan cristales

de cuarzo; las plagioclasas son de textura robusta. En las profundidades, se identificaron diques de andesita porfirítica que atraviesan el pórfido feldespático, formando una zona brechada que actúa como límite rocoso y favorece la concentración de oro y cobre.

Alteraciones

Las alteraciones hidrotermales frecuentes incluyen sílice abundante, modificación arcillosa media y propilitización leve. La silicificación se observa en el Tajo Checocollo en su grado máximo, en el cual se observa cambios gradacionales de mayor a menor intensidad de los extremos hacia la zona central. De acuerdo a la información de los logues se observa que se han tenido episodios de alteración con distintas intensidades han afectado la zona. La silicificación progresiva y la acción tectónica ocasional en un inicio provocaron fracturamiento y posteriormente silicificación en diferentes formas, como silicización masiva y porosa. A diferencia del Cerro Caldero, donde esta alteración se limita a estructuras subvertical en la parte superior. La alteración arcillosa moderada con pirita dispersa aparece en el Cerro Caldero, tanto en afloramientos como en sondeos, vinculada directamente a la intrusión del pórfido feldespático. Esta alteración transforma feldespatos en mineralización arcillosa acompañada de sílice en grado leve a intermedio y formación de pirita. De forma mineral secundaria, se hallan pequeñas cantidades de anatasa, rutilo y leucoxeno. La modificación propilitica aparece como una capa periférica que rodea los cerros, afectando en particular a los volcánicos Huilacollo. Esta modificación se identifica por la transformación de minerales ricos en hierro y magnesio, acompañada de calcita en filones delgados, epidoto y pirita dispersa, presentándose en un nivel medio.

- **Mineralización**

La concentración de minerales en el Proyecto Pucamarca se clasifica en dos categorías: sulfuros y metales valiosos (oro y plata) presentes también en una etapa de óxidos (HS)

Para el cerro Checocollo, la concentración de oro y plata se halla en una etapa óxida. A través de estudios se comprobó una relación directa entre Au, Ag y elementos como arsénico, antimonio, mercurio y telurio. Dichos componentes son característicos del entorno hidrotermal con alta concentración de azufre. La mineralización de Au y Ag, de tipo diseminado, se distingue por la presencia de oro libre junto con oropimente, rejalgar, cinabrio y azufre elemental. La plata suele encontrarse en forma de sulfosales o acantita; su asociación con el oro en ciertos casos es directa, aunque también puede manifestarse de manera independiente.

La concentración de oro se vincula principalmente con una fuerte silicificación, áreas de brechas, límites entre rocas y zonas de brechas impregnadas con óxidos férricos.

La concentración sulfúrica se localiza en el cerro Caldero y aparece como partículas dispersas y filones discontinuos en la masa porfírica feldespática y en las formaciones volcánicas de Huilacollo. La pirita constituye el sulfuro predominante, bornita, covelita y calcocita, se encuentran en porciones menores. La calcopirita es poco frecuente, y baritina – alunita, aparecen ocasionalmente en forma de hendiduras y conjuntos irregulares. Esta mineralización vinculada a facies argílicas no presenta la suficiente concentración ni continuidad para definirla como rentable.

2.2.2. Características Generales de la Operación

- Tonelaje total: 99,847,000 Tn
- Recursos minerales: 76,955,000 Tn
- Ley de oro: 0.72 g/Tn
- Desmonte: 22'892,000
- La mina Pucamarca tiene aprobación de minar 25,200 TMD de mineral, acorde al siguiente cronograma y vida útil aprobado según la última modificatoria de EIA:

Tabla 1. *Plan de minado aprobado en Mina Pucamarca*

Fase	Mineral	Material	Total
	Extraído	Estéril	Material
	(TMx1,000)	Generado	Extraído
		(TMx1,000)	(TMSx1,000)
Año 1	9,198	6,321	15,519
Año 2	9,198	2,071	11,269
Año 3	9,223	2,297	11,520
Año 4	9,198	2,187	11,385
Año 5	9,198	2,000	11,198
Año 6	7,970	2,008	9,978
Año 7	7,970	2,008	9,978
Año 8	7,500	2,000	9,500
Año 9	7,500	2,000	9,500

- Topografía: La topografía empleada para supervisar la operación se actualiza de forma constante. MINSUR dispone de un equipo dedicado a tiempo completo para estas tareas. Para ello, se utilizó el sistema PSAD 56. Pucamarca posee una red poligonal cerrada y compensada, ajustada mediante puntos geodésicos de nivel “C” estos partieron desde el punto identificado como SAMA/2004, situado en el distrito de Sama, provincia de Tacna. Este punto geodésico es de categoría “A” y sus coordenadas UTM en el sistema WGS84 son 333831 Norte y 8029376 Este.

2.2.3. Operaciones Unitarias de Extracción en mina Pucamarca

Las operaciones unitarias de extracción en la unidad minera Pucamarca abarcan una serie de procesos esenciales para la extracción de minerales, que incluyen la perforación, voladura, carguío y acarreo de materiales. En este trabajo, nos centraremos específicamente en las operaciones unitarias de carguío y acarreo.

- Operación Unitaria de Carguío

Tras la realización del proceso de voladura, se verifican los términos operativos del frente de minado para proceder con su preparación. Esta preparación incluye la eliminación de tiros cortados, el perfilado del talud, la nivelación de pisos, la eliminación de posibles obstrucciones y la conformación de muros de seguridad. Estos pasos son cruciales para garantizar condiciones seguras para el inicio del carguío.

Con las condiciones óptimas establecidas, se procede al carguío de los materiales. El objetivo de esta operación es remover el material volado de los frentes de trabajo utilizando maquinaria de acarreo, como camiones y volquetes.

- Equipos de Carguío

Los equipos utilizados para la actividad de carguío son fundamentales para la eficiencia del proceso de extracción. En la minería superficial, los equipos comunes para el carguío incluyen palas eléctricas, palas hidráulicas, cargadores frontales y excavadoras.

En la unidad minera Pucamarca, el carguío principal se realiza con cargadores frontales. Seguidamente, se detallan las características principales maquinarias de carguío utilizados en la mina Pucamarca en la Tabla 1, Figura 2 y Figura 3.

Tabla 2. *Equipos de carguío principal en Mina Pucamarca*

Código	Equipo	Marca	Modelo	Capacidad (Tn)
CF-01	Cargador Frontal	Caterpillar	993K	25
CF-02	Cargador Frontal	Caterpillar	993K	25

Figura 1. *Cargador Frontal 1 realizando carguío en Banco 35, mina Pucamarca*



Figura 2. Dimensiones Cargador Frontal Caterpillar 993K

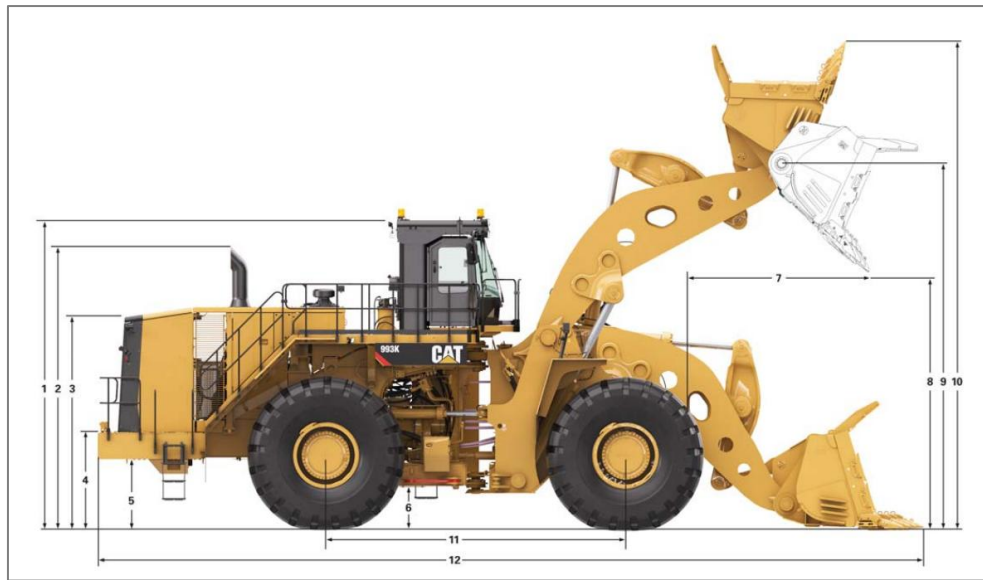


Figura 3. Leyenda de Dimensiones Cargador Frontal Caterpillar 993K

	Standard Lift Linkage, 50/65-51 (311-1938), 13.8 m³ (18 yd³) (303-3280)		High Lift Linkage, 50/65-51 (311-1938), 13.8 m³ (18 yd³) (303-3280)	
1 Ground to Top of Exhaust Stacks	5555 mm	18.2 ft	5555 mm	18.2 ft
2 Ground to Top of ROPS	6069 mm	19.9 ft	6069 mm	19.9 ft
3 Ground to Top of Hood	4373 mm	14.3 ft	4373 mm	14.3 ft
4 Ground to Center of Rear Axle	1461 mm	4.8 ft	1461 mm	4.8 ft
5 Ground to Bumper Clearance	1389 mm	4.6 ft	1389 mm	4.6 ft
6 Ground to Lower Hitch Clearance	721 mm	2.4 ft	721 mm	2.4 ft
7 Reach at Maximum Lift, Dump Position	2602 mm	8.5 ft	2711 mm	8.9 ft
8 Clearance at Maximum Lift, Dump Position	4669 mm	15.3 ft	5314 mm	17.4 ft
9 B-Pin Height at Maximum Lift	7116 mm	23.3 ft	7761 mm	25.5 ft
10 Maximum Overall Height, Bucket Raised	9903 mm	32.5 ft	10 547 mm	34.6 ft
11 Rear Axle Center Line to Bumper	4475 mm	14.7 ft	4475 mm	14.7 ft
12 Wheel Base	5890 mm	19.3 ft	5890 mm	19.3 ft
13 Maximum Overall Length	15 264 mm	50.1 ft	15 909 mm	52.2 ft
14 Front Axle Centerline to Bucket Tip	5449 mm	17.9 ft	6094 mm	20.0 ft

- Operación Unitaria de Acarreo

La operación unitaria de acarreo se basa en transportar el material volado desde los frentes de carguío hasta las zonas específicas, utilizando equipos de acarreo como camiones y volquetes. El destino del material depende de su mineralización y su tipo.

En mina Pucamarca se realiza el acarreo de dos tipos de materiales:

- **Mineral:** Dependiendo de la granulometría del mineral, existen tres posibles zonas de descarga: la chancadora, stocks de mineral o celdas de lixiviación.
- **Desmante:** El desmante, que es material no mineralizado, se descarga en el botadero norte.

- Equipos de Acarreo

Son esenciales para el traslado de materiales en la minería superficial. Generalmente, se utilizan camiones o volquetes para este propósito.

En la unidad minera Pucamarca, el acarreo principal se realiza con camiones mineros. Seguidamente, se presentan las particularidades principales de estos equipos en la Tabla 2, Figura 4 y Figura 5.

Tabla 3. *Equipos de acarreo principal en Mina Pucamarca*

Código	Equipo	Marca	Modelo	Capacidad (Tn)
CA-01	Camión	Caterpillar	777F	93
CA-02	Camión	Caterpillar	777F	93
CA-03	Camión	Caterpillar	777F	93
CA-04	Camión	Caterpillar	777F	93
CA-05	Camión	Caterpillar	777F	93
CA-06	Camión	Caterpillar	777F	93
CA-07	Camión	Caterpillar	777F	93

Figura 4. Dimensiones Camión Minero Caterpillar 777F

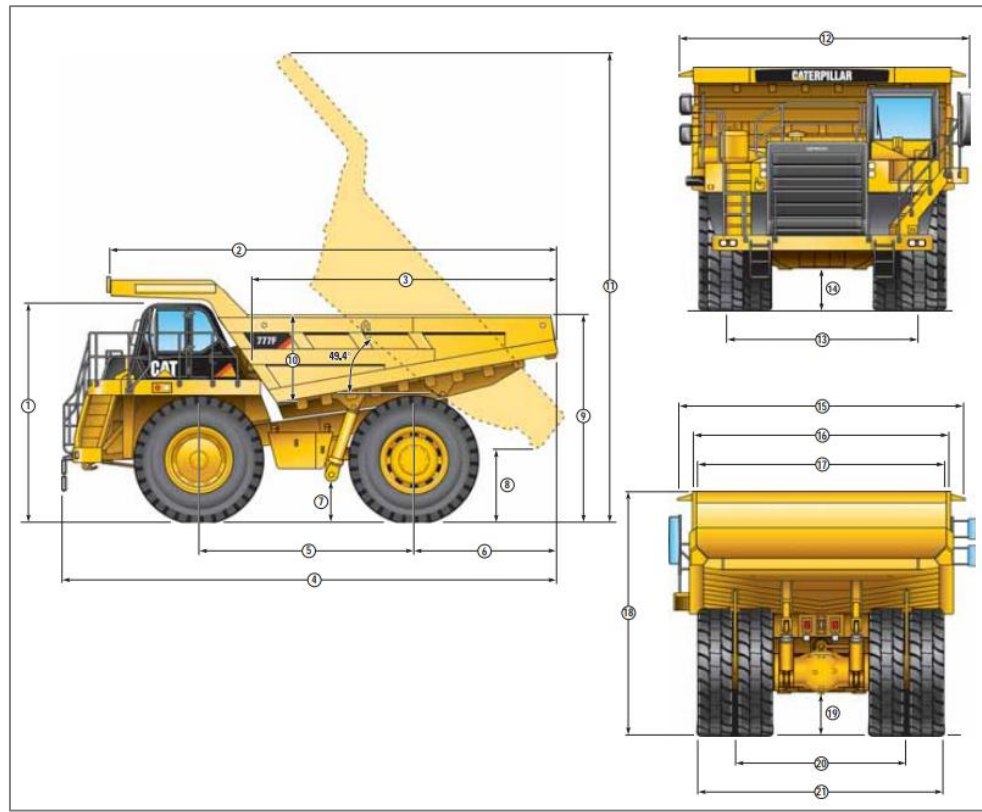


Figura 5. Leyenda de Dimensiones Camión Minero Caterpillar 777F

1	Height to top of ROPS	4715 mm	15 ft 6 in
2	Overall Body Length	9830 mm	32 ft 3 in
3	Inside Body Length	6580 mm	21 ft 7 in
4	Overall Length	10 535 mm	34 ft 7 in
5	Wheelbase	4560 mm	15 ft
6	Rear Axle to Tail	3062 mm	10 ft 1 in
7	Ground Clearance	896 mm	2 ft 11 in
8	Dump Clearance	965 mm	3 ft 2 in
9	Loading Height – Empty	4380 mm	14 ft 4 in
10	Inside Body Depth – Max	1895 mm	6 ft 3 in
11	Overall Height – Body Raised	10 325 mm	33 ft 11 in
12	Operating Width	6494 mm	21 ft 4 in
13	Centerline Front Tire Width	4170 mm	13 ft 8 in
14	Engine Guard Clearance	864 mm	2 ft 10 in
15	Overall Canopy Width	6050 mm	19 ft 10 in
16	Outside Body Width	5524 mm	18 ft 2 in
17	Inside Body Width	5200 mm	17 ft 1 in
18	Front Canopy Height	5170 mm	17 ft
19	Rear Axle Clearance	880 mm	2 ft 11 in
20	Centerline Rear Dual Tire Width	3576 mm	11 ft 9 in
21	Overall Tire Width	5223 mm	17 ft 2 in

2.2.4. Sistema de Gestión de Flotas

Son herramientas esenciales para el orden y la optimización de las operaciones mineras, basada en los datos registrados al momento. Su meta es optimizar el rendimiento y minimizar los costos operarios mediante la asignación eficiente de los camiones a las maquinarias de carguío.

Entre las principales funciones se incluyen:

- Monitoreo en Tiempo Real: El sistema rastrea y registra continuamente la información de los eventos y operaciones de la flota, proporcionando datos actualizados sobre el estado y rendimiento de los equipos.
- Optimización de Asignación de Recursos: Utiliza algoritmos avanzados para asignar de manera eficiente los camiones a las maquinarias de carguío, considerando factores como la disponibilidad de recursos y la demanda de material.
- Almacenamiento de Datos: Los datos recolectados se almacena en una base compleja que permite realizar análisis detallados y generar reportes sobre la productividad y gastos operativos.

Los sistemas determinados de diferentes marcas proveedoras suelen basarse en tres algoritmos principales:

- Programación Lineal: Utilizado para optimizar la distribución de insumos y reducir gastos bajo ciertas restricciones lineales. Este algoritmo ayuda a planificar la mejor adjudicación de camiones a las maquinarias de carguío, maximizando la eficiencia operacional.
- Programación Dinámica: Permite la resolución de problemas complejos dividiéndolos en subproblemas más simples y resolviendo estos de manera secuencial. Este enfoque es primordial en conclusiones de escenarios donde sus términos pueden cambiar con el tiempo.
- Algoritmo de la Mejor Ruta: Empleado para determinar las rutas más eficientes para los camiones, minimizando tiempos de viaje y costos asociados al transporte de material. Este algoritmo considera factores como la distancia, el estado de las vías y el tráfico.

En conjunto, estos algoritmos permiten que el Sistema de Gestión de Flotas optimice los procesos mineros, mejore la eficiencia y reduzca los gastos operativos, contribuyendo significativamente a la rentabilidad de la mina.

2.2.5.Sistema Wenco International Mining Systems

- Generalidades del Sistema

Es un sistema de gestión de flota en minería, empleado en la unidad minera Pucamarca.

Los principales beneficios de este sistema de flota son:

- Incremento de la productividad de los camiones y equipos de carguío
- Análisis de la data obtenida
- Seguimiento y registro en tiempo real de la calidad del material descargado
- Despacho automático para control de mineral

- Componentes Hardware y Software

Equipos de oficina

- 4 servidores Microsoft Windows Server 2016
- Estaciones de trabajo Microsoft Windows

Equipos a bordo

- MDT (Mobile Data Terminal) Octagon RMB-02

Equipos de comunicaciones

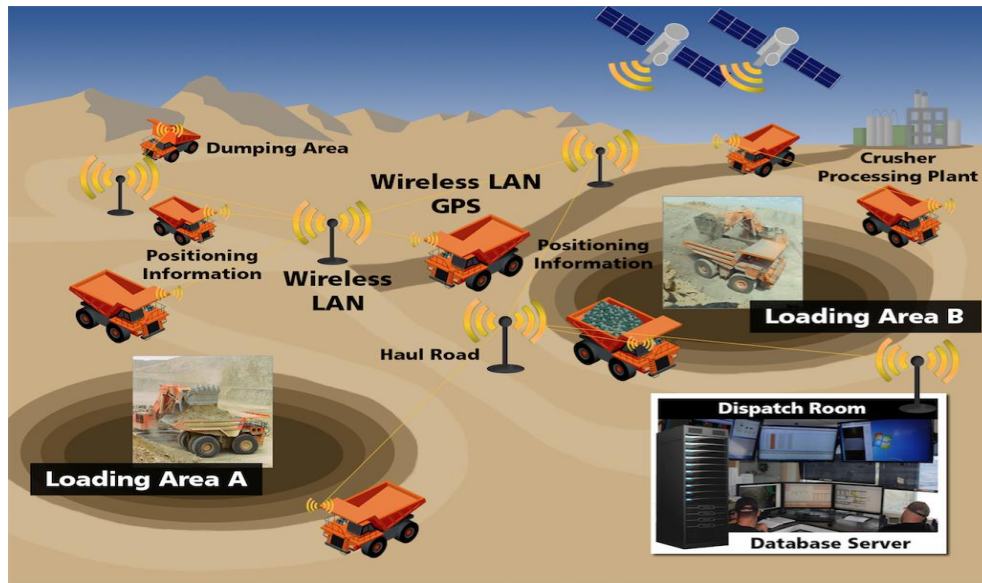
- Antenas de radio y GPS
- Estación base GPS, Modems de radio, Repetidoras
- Plataforma de comunicaciones de red inalámbrica

Componentes Software Sistema Wenco

- Microsoft SQL Server 2016 (Servidores Wenco)

- Aplicaciones Clientes
- Servicios Wenco de comunicación entre aplicaciones

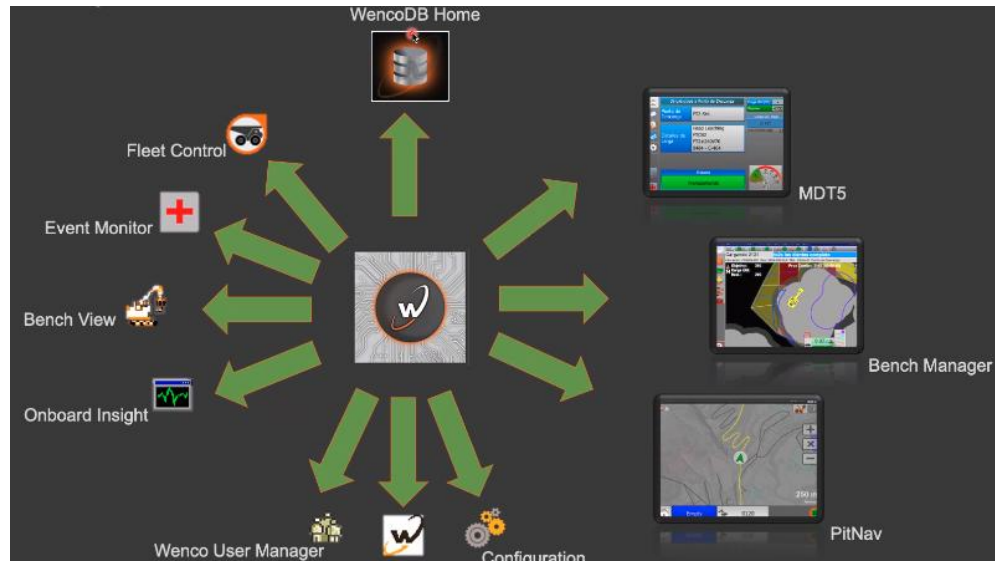
Figura 6. *Overview del funcionamiento del Sistema Wenco Mining System*



- Aplicaciones del Sistema Wenco

Dicho sistema cuenta con diversas aplicaciones que, en conjunto, permiten realizar diversas actividades de monitoreo y control de la flota de mina.

Figura 7. *Aplicaciones del Sistema Wenco International Mining Systems*



De las cuales las principales aplicaciones empleadas en el área de Dispatch Mina son:

- **Fleet Control**

Esta aplicación permite visualizar la actividad de los equipos en tiempo real, supervisar las actividades de los equipos, estados de equipos, así como también los datos de operadores que se encuentran actualmente en cada uno de los equipos. Adicional a ello, esta herramienta permite generar actualizaciones en tema de estados, modelo de mina, ubicaciones de carguío y asignación de camiones a las maquinarias de carguío disponibles.

- **WencoDB Home**

Esta aplicación permite visualizar y exportar la información histórica registrada en tiempo real, así como también brinda la opción de generar ediciones de información histórica en caso se requiera, además de los diversos elementos requeridos (bancos, polígonos, equipos, etc) para el correcto funcionamiento del sistema.

- **Event Monitor**

Esta plataforma permite visualizar en tiempo real el reporte de eventos tales como exceso de velocidad, sobrecargas, inamovilidad, registro de operadores, equipos fuera de ruta, entre otros. Adicionalmente nos permite desplegar la ventana de mensajería, primordiales para realizar el dialogo entre la supervisión de despacho y el personal operativo.

- **Bench View**

Bench View brinda la posibilidad visualizar y controlar, en base a la alta precisión del sistema, la información de los equipos de carga tales como actualización de polígonos, registro histórico de baldadas, corte de minado, nivel de losa del área de carguío, entre otros.

- **Perfiles de Usuarios del Sistema**

- **Supervisión/Gerencia**

Acceso a la plataforma de reportes y a la aplicación Fleet Control para visualizar en tiempo real la distribución de la flota y los frentes de minado.

- **Administración Dispatch**

Posee acceso a todas las aplicaciones del sistema, con un mayor foco a la administración de usuarios como Wenco User Manager y Configuration, así como también en la administración de la integridad de la información mediante la aplicación WencoDB Home.

- **Dispatch Mina**

Acceso a las aplicaciones principales como Fleet Control para la gestión de la flota, WencoDB Home para la revisión de la información histórica, Event Monitor que permite la visualización de la información de salud de los equipos, Bench View que proporciona la opción de monitoreo en tiempo real de los frentes de minado.

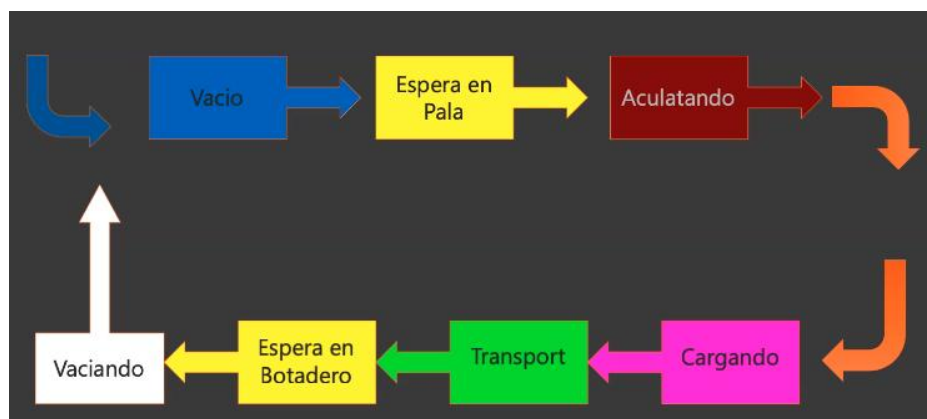
- **Usuarios de equipos**

El usuario del personal que opera los equipos mineros es generado por la administración dispatch y de acuerdo con el equipo con el cual trabajen pueden acceder al MTD, Bench Manager y/o Pit Nav.

- **Ciclo Operativo de Carguío y Acarreo del Sistema Wenco International Mining Systems**

Comprende el transporte vacío de la unidad de acarreo, la espera en la unidad de carga, aculatamiento, el carguío, transporte cargado, espera en la zona de descarga y el tiempo empleado en descargar.

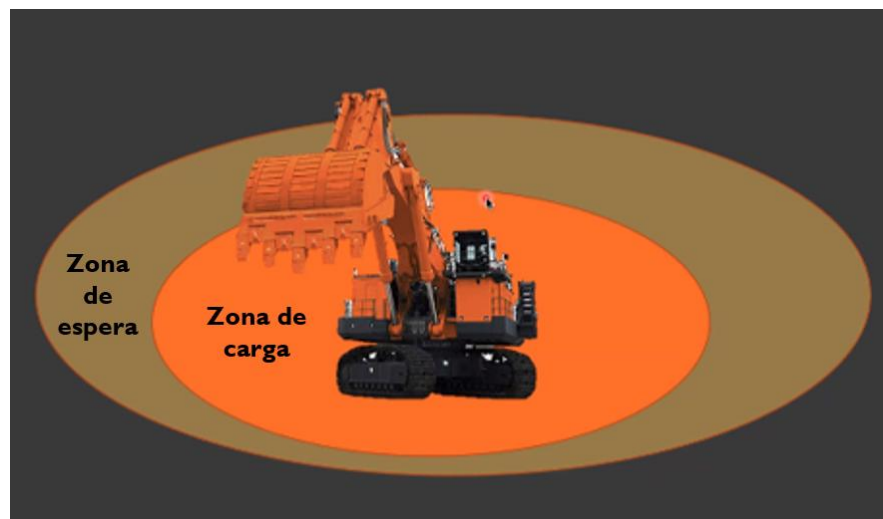
Figura 8. *Ciclo Operativo de Carguío y Acarreo del Sistema Wenco International Mining Systems*



Dicho ciclo operativo de Carguío y Acarreo se genera de manera automática, que es validado por el sistema Wenco International Mining Systems a través de posiciones GPS. El cual requiere un control y seguimiento por parte del supervisor de despacho.

Básicamente, el sistema GPS brinda la información de la ubicación exacta del equipo de carguío, la cual se encuentra configurada como se observa en la Figura 3, acorde a las dimensiones de los equipos, lo cual permite la activación de los estados automáticos.

Figura 9. *Configuración de zonas de un equipo de carguío según el Sistema Wenco International Mining Systems*



El ciclo y acarreo determinado, se basa en el proceso visualizado en la Figura 3 de zona de carga y zona de espera.

Detallando:

El camión ingresa en la zona de espera y cuando se detiene en dicha zona, el sistema Wenco reconoce dichas acciones y genera un cambio automático del estado a espera para el camión.

El camión se encuentra en movimiento en el área de carga cambia el estado a aculatando tanto para el camión como para el equipo de carguío, que implica el tiempo de cuadrado del camión en el equipo de carguío.

El camión se encuentra en el área de carga y queda completamente detenido cambian tanto el equipo de carguío como el del camión al estado cargando.

Una vez culminado el carguío el camión nuevamente en movimiento permite que el sistema active de manera automática el cambio de estado a Transportando. Durante el traslado del camión, este cruzará por diversas balizas de ruta las cuales permitirán la anotación de los datos del sistema lo cual también permitirá detectar si el camión se encuentra en la ruta correcta.

Las ubicaciones de la zona de descarga se encuentran definidas por coordenadas que virtualmente se representan como polígonos que definen dichas áreas. De igual manera que en la zona de carguío en base a la información del camión detenido permite un cambio automático de estado a esperando. Cuando se detecta que la tolva del camión inicia a levantarse, se visualiza el cambio a **descargando** y ya finalmente cuando el camión inicia su desplazamiento luego de que la tolva se encuentre totalmente en su posición se detectará como **vacío**, lo cual representa el traslado del equipo sin carga y de retorno hacia algún equipo de carguío asignado por el sistema o el supervisor Dispatch.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Modelo de tiempos – ASARCO

El Modelo de Tiempos – ASARCO es usada para distribuir y analizar los plazos operativos de los equipos en las operaciones mineras. De acuerdo con la normativa ASARCO (Salazar, 2022), este modelo clasifica los tiempos en diferentes categorías, proporcionando una visión integral de cómo se emplea el tiempo en las actividades mineras. Las categorías de tiempo incluyen:

- Tiempo nominal: Produce su medición, siendo adecuado a la zona muestral y dependen de su período continuo de operación en su labor.
- Tiempo disponible: Consta en la disponibilidad del equipo para que realice sus actividades.
- Tiempo de fuera de servicio: Consta en la inactividad del equipo por un mantenimiento programado o fallas.
- Tiempo operativo: Consta cuando la máquina está lista para que realice y cumpla con sus acciones relacionadas a su función.
- Tiempo efectivo que se basa cuando el equipo realiza sus actividades según a la funcionalidad.
- Tiempo de pérdidas operaciones es cuando el equipo no realiza sus actividades para las que ha sido diseñado y se debe a los tiempos de espera de su equipo.
- Tiempo de demoras programadas es cuando no realizan sus actividades para las que ha sido diseñado, pero se realizan cumpliéndose algunas actividades normadas de acuerdo a la ley como sus tiempos de disposición.

- Tiempo de demoras no programadas es cuando no desarrollan sus actividades para las que ha sido creado, ocurre por condiciones inherentes a su funcionamiento o por sus propias deficiencias.
- Tiempo de reservas: Se basa en que el equipo se encuentra capacitado para que realice alguna actividad, sin embargo, por algún requisito específico no está siendo empleado (Orellana et al., 2019).

Tabla 4. *Modelo de tiempos – ASARCO*

Nominal				
Disponibile				Mantenimiento
				PM NP
Operativo	Demora		Reserva	
	Programada	No Programada		

2.3.2. Indicadores KPI

Son indicadores esenciales usadas en definir y medir el progreso hacia los objetivos organizacionales. Son primordiales para la administración y la sostenibilidad de cualquier empresa, ya que proporcionan una forma estructurada de evaluar el desempeño y realizar ajustes necesarios para alcanzar las metas establecidas (Asih et al., 2020).

Los KPI sirven para:

- Medir el Desempeño: Permiten evaluar el rendimiento y utilidad de las operaciones y gestiones encauzadas hacia las metas organizacionales estratégicas
- Monitorear Progreso: Facilitan el seguimiento continuo del progreso hacia las metas, proporcionando datos que ayudan a seleccionar zonas de optimización.

- Tomar Decisiones Informadas: Ofrecen un inicio cuantitativo con el fin de decidir y crear estrategias basadas en datos objetivos.

Los KPI pueden ser clasificados en diferentes tipos según su alcance y aplicación:

- KPIs Organizacionales: Estos indicadores abarcan el desempeño general de la organización empresarial y están alineados con los metas estratégicos de alto nivel. Ejemplos incluyen ingresos totales, rentabilidad y participación de mercado.
- KPIs Específicos de Equipos: Estos KPI se centran en el desempeño de equipos o departamentos particulares dentro de la organización. Pueden incluir indicadores de rendimiento funcional según la línea de producción o satisfacción del cliente en el servicio postventa.
- KPIs Individuales: Estos indicadores evalúan el rendimiento de empleados individuales o roles específicos, tales como el cumplimiento de objetivos de ventas o el rendimiento en la administración de proyectos.

La efectividad de un KPI, depende del cumplimiento de ciertas características:

- Medible: Debe estar basado en datos cuantitativos que puedan ser medidos y comparados fácilmente.
- Relevante: Alineación con las metas estratégicas de la organización, reflejando aspectos críticos del desempeño.
- Específico: Debe definir claramente qué se está midiendo y cómo se interpretarán los resultados.
- Accionable: Ofrecer datos útiles que ayuden a definir decisiones prácticas y realizar mejoras.

La implementación de un sistema de KPI eficaz requiere:

- **Definición Clara de Objetivos:** Establecer objetivos claros y específicos que los KPI deben medir.
- **Selección de Métricas Apropriadas:** Elegir KPI que reflejen de manera precisa los aspectos importantes del rendimiento.
- **Monitoreo Regular:** Realizar un seguimiento continuo de los KPI para examinar el proceso y hacer configuraciones primordiales.
- **Análisis y Retroalimentación:** Analizar los datos obtenidos, interpretar los resultados y proporcionar retroalimentación para la mejora continua (Martins, 2022).

En resumen, los KPI son primordiales para la administración del desempeño, brindando una visión clara y medible del progreso hacia los objetivos organizacionales. Su implementación efectiva permite a las organizaciones optimizar su desempeño, emitir juicios sustentados y asegurar su sostenibilidad a largo plazo (Martins, 2022).

- **Eficiencia Operacional**

La eficiencia operacional es un indicador de los equipos que representa el tiempo en el cual este se encuentra trabajando, según el total de plazos en que está con el motor encendido.

$$\frac{\text{Eficiencia}}{\text{Operacional}} = \frac{\text{Operativo}}{\text{Operativo} + \text{Demora}}$$

- **Utilización**

Valor porcentual que indica el lapso en que el equipo está en uso con respecto al plazo total accesible.

$$Utilización = \frac{Operativo}{Operativo + Demora + Stand\ by + NP + PM}$$

- **Uso de la disponibilidad**

El uso de la disponibilidad es un indicador que se basa en el tiempo que el equipo se encuentra disponible.

$$Uso\ de\ la\ disponibilidad = \frac{Operativo + Demora}{Operativo + Demora + Stand\ by}$$

- **Productividad**

Conexión presente entre la producción en toneladas métricas secas y el tiempo operativo empleado en la misma.

Tabla 5. *Cálculo de productividad en carguío y acarreo*

CARGUÍO	Productividad Operacional	$P.Operativa = \frac{Payload}{Cargando + Spot + Hang}$
	Productividad Efectiva	$P.Efectiva = \frac{Payload}{Cargando + Spot}$
	Dig Rate	$Dig\ Rate = \frac{Payload}{Cargando}$
ACARREO	Productividad	$Productividad = \frac{Toneladas\ (TMS)}{Ciclo\ del\ camión\ (h)}$
	Productividad Efectiva	$P.Efectiva = \frac{Toneladas\ (TMS)}{Ciclo\ del\ camión\ (h) - Esperas\ (h)}$

- **Producción de Equipo**

Consta en su proporción del periodo durante el cual la maquinaria está en funcionamiento en relación con el total del tiempo accesible mecánicamente; es decir, es una evaluación del rendimiento óptimo de dichos recursos por parte de las actividades operativas (Rojas y Muñoz, 2021).

$$PE(\%) = \frac{\text{Horas operativas}}{\text{Horas operativas} + \text{Demoras} + \text{Horas Stand By}}$$

2.3.3. Diagrama de Pareto

Consta en una herramienta analítica que facilita a que se identifique las necesidades, problemas o causas principales de una forma sistemática, afirmando también que permite su evaluación de resultados de un antes y después, clasificando sus datos de acuerdo a las categorías establecidas por rangos de porcentajes (Pareja, 2021).

Este diagrama de Pareto es muy utilizado, siendo una curva acumulativa que da la relación entre la frecuencia acumulada y sus factores individuales clasificados de acuerdo con la frecuencia de su ocurrencia o grados de influencia; esto es una de las siete básicas herramientas para su gestión de la calidad (Germanova y Dimcheva, 2020).

Es decir, que es una gráfica que se encarga de organizar valores, donde estos se encuentran distribuidos mediante columnas organizadas de forma descendente, así como de izquierda a derecha; facilitando la creación de una jerarquía de prioridades para la adopción de decisiones, determinando los problemas más importantes que se deben resolver primero (Souza, 2019).

2.3.4. Diagrama de Ishikawa

Se trata de una de las herramientas de calidad que resultan efectivas y productivas en la reducción de problemáticas claves, siendo un componente fundamental que posibilita analizar los factores que afectan la calidad del producto o servicio mediante una relación de causa y efecto; esto facilita identificar las fuentes de variabilidad y organizar la conexión entre las causas en un tema que puede abordarse en diversos ámbitos (Burgasí et al., 2021).

Por otro lado, este diagrama, consta en la facilidad de separar la causa del efecto de una problemática brindada, la cual, para su creación se debe seguir el siguiente orden:

- Definición del problema a examinar y lo que se necesita lograr.
- Examinar y conocer el procesamiento incluido mediante su observación.
- Tener una reunión constante con las personas implicadas en su proceso y discutir el problema, ya que es esencial animar a todos a que puedan expresar sus ideas.
- Cuando se recopile toda la información, se debe de organizar en causas principales, secundarias, terciarias, excluyendo su información que no es importante.
- Elaborar el diagrama y examinar con toda la representación de su actual situación.
- Seleccionar lo que es más esencial para que se logre el propósito que se desea lograr (Basílio y Campos, 2021).

Además, se utiliza para que se pueda identificar sus posibles causas de alguna problemática en específico, lo cual, la utilización y desarrollo de este diagrama Ishikawa son más efectivos luego de que su procesamiento ha sido detallado y su problema ha sido bien definido; asimismo, se pueden emplear para otros propósitos diversos a su análisis de su causa principal (León et al., 2021).

2.3.5. Métodos de reducción de demoras de carguío y acarreo

Para mejorar la eficiencia del ciclo de carguío y acarreo, es crucial identificar y reducir las demoras y tiempos improductivos. Los métodos para reducir estas demoras incluyen:

- **Análisis de Causas Raíz:** Identificar las causas subyacentes de las demoras y abordarlas sistemáticamente.
- **Optimización de Procesos:** Revisar y mejorar los procesos de carguío y acarreo para eliminar ineficiencias.
- **Capacitación del Personal:** Capacitar al personal para mejorar su habilidad en la operación de equipos y en la gestión de procesos.
- **Mantenimiento Preventivo:** Implementar un programa de mantenimiento preventivo para reducir el tiempo de inactividad por fallas imprevistas.
- **Tecnología y Automatización:** Incorporar tecnologías avanzadas y sistemas automatizados para mejorar la eficiencia operacional (Salazar, 2022).

Estos métodos son aplicados para maximizar la productividad y minimizar el tiempo improductivo, asegurando así un funcionamiento más eficiente de los equipos y una mejora en el rendimiento general.

CAPITULO III:

3. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Las hipótesis

Hipótesis General

La reducción de demoras en los ciclos de carguío y acarreo mejora significativamente la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

Hipótesis Específicas

El diagnóstico efectivo de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo permite identificar áreas críticas de mejora, lo que conduce a una optimización de la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

El impacto negativo de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo reduce la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

La implementación de controles diseñados para reducir las demoras en los ciclos de carguío y acarreo incrementa la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

3.2. Las variables

Variable Independiente:

Reducción de las demoras en los ciclos de carguío y acarreo

Variable Dependiente:

Mejora de la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 6. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición	Método de Medición
Variable 1						
Reducción de las Demoras en los Ciclos de Carguío y Acarreo	Analizar las demoras en los ciclos de carguío y acarreo para identificar estrategias que reduzcan tiempos improductivos (Salazar, 2022).	Evaluar mediante herramientas analíticas para identificar y abordar causas de demoras.	Diagrama de Pareto	Tiempo de demoras de carguío y acarreo	Intervalo	Registro y análisis de tiempos de demoras en diferentes etapas del ciclo.
			Diagrama de Ishikawa	Causa - Efecto de las demoras	Cualitativa	Revisión de diagramas de causa-efecto para identificar causas principales de demoras.
			Modelo de Tiempo	Tiempo total de ciclo de acarreo	Intervalo	Registro de tiempos de ciclo para calcular promedio y variaciones.
			Indicadores KPI	KPIs relacionados con la eficiencia del ciclo	Intervalo/ Cualitativa	Recolección y análisis de datos de KPIs predefinidos (e.g., tiempo de ciclo, número de ciclos).
Variable 2						
Mejora de la Eficiencia Operacional de los Equipos en la Mina Pucamarca	La eficiencia operacional mide el tiempo productivo en relación con el tiempo total de operación del equipo.	Medir el tiempo efectivo de trabajo comparado con el tiempo total de operación del equipo.	Tiempo Operativo	Tiempo en el cual un equipo realiza trabajo productivo	Horas	Registro del tiempo en operación productiva usando sistemas de monitoreo o informes operativos.
			Tiempo Utilizado	Tiempo total en el cual el equipo tiene el motor encendido	Horas	Monitoreo del tiempo de operación del motor con sistemas de registro o control.
			Eficiencia Operacional	Proporción del tiempo operativo sobre el tiempo utilizado	Razón	Cálculo de la proporción entre Tiempo Operativo y Tiempo Utilizado.

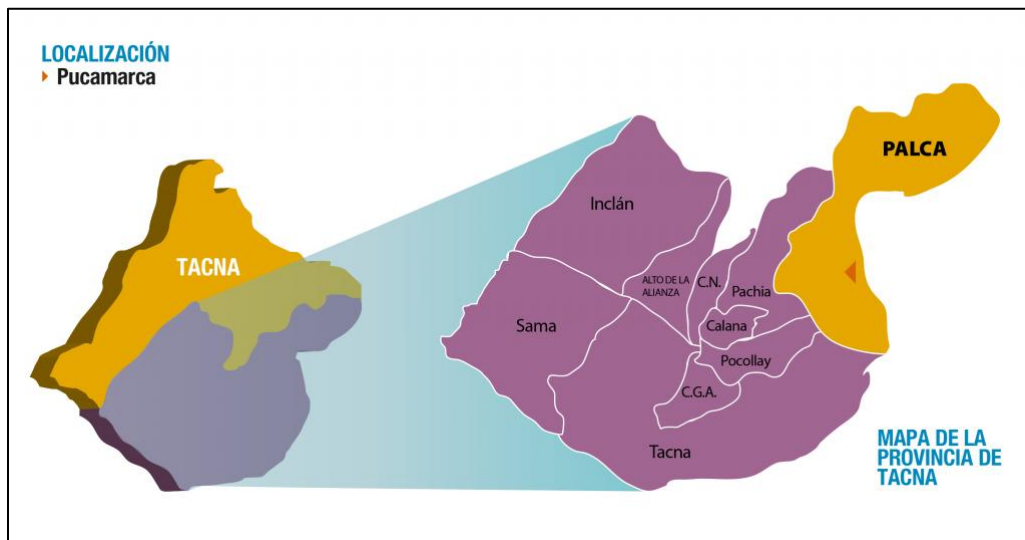
CAPITULO IV:

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Área de estudio

Comprenderá la operación Unidad Minera Pucamarca, localizado a 53 kilómetros al noreste de esta ciudad de Tacna. Siendo punto centro de este, está dado por sus coordenadas UTM 414,800 E y 8029,800 N, en su carta topográfica nacional 36 X, a una altitud de 4,445 msnm.

Figura 10. Ubicación geográfica Pucamarca



Fuente: Google Maps

4.2. Diseño de investigación

De acuerdo al tipo de investigación es no experimental transversal, ya que examina sus características de sus variables en el procesamiento de cambio, observando el proceso a lo largo del tiempo. Implica varias mediciones, con la finalidad de comparar resultados a través del tiempo (Arias y Covinos, 2021). Por ello, esta investigación se va a encargar de analizar la

implementación de métodos de reducción, planteadas en función a sus principales demoras en los ciclos de acarreo, y el uso de disponibilidad de los equipos en acarreo; los datos serán recolectados mediante periodos de tiempo para que se analice sus cambios.

Según el nivel de la investigación es aplicada, ya que se encarga de plantear soluciones a problemas prácticos con base en hallazgos y soluciones planteados en el objetivo de estudio (Arias y Covinos, 2021). Por ello, esta investigación se encargará de plantear métodos de reducción con base en la información de la eficiencia operacional de equipos.

4.3. Población y muestra

En cuanto a esta población se basa en su conjunto total de personas, objetos o medidas debiendo poseer algunas características en común que son observables en algún lugar y en el momento establecido, donde se realizará dicha investigación (Moreno, 2021).

Para esta investigación se considera todos los ciclos en cuanto al carguío y acarreo para su flota de equipos de la Unidad Minera Pucamarca.

Con respecto a su muestra es la parte en cuanto a población en donde se llevará a cabo la investigación, es decir es un conjunto de datos que se pueden recolectar a través de una estadística (Hernández et al., 2014).

La muestra para esta investigación se considera todos los ciclos en cuanto al carguío y acarreo para su flota de equipos de la Unidad Minera Pucamarca durante el periodo de enero a diciembre de 2021.

4.4. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información

Procedimiento

En la primera fase se analiza de manera bibliográfica de artículos científicos, tesis, libros, revistas y documentos de sitios webs que sean confiables, evitando una literatura gris, con el propósito de que sirvan de ayuda para que se pueda desarrollar esta investigación.

En la segunda etapa se aplicaron sus instrumentos de investigación en Unidad Minera Pucamarca en los ciclos de carguío y acarreo con el propósito de que se recolecte datos de esta unidad minera para que se aplique los instrumentos que son guía de análisis documental y guía de observación.

En su tercera etapa es el procesamiento de información adquirida en el campo a través de estas guías de observación, donde se han adquiridos los diferentes datos en la Unidad Minera Pucamarca con respecto a ciclos de carguío y acarreo; de tal manera que se analizó y procesó toda esta información mediante el software Excel para que se pueda obtener sus resultados.

Técnicas

Se han utilizado para su recolección de información, siendo análisis documental y observación.

Análisis documental: Se basa en sus datos bibliográficos para recoger información sobre los métodos de reducción de demoras de acarreo.

Observación: Esta técnica se utiliza para recoger datos mediante el sistema de gestión de flotas Wenco, sobre sus tiempos de demoras de acarreo.

Instrumentos

En cuanto a sus instrumentos se tiene a los siguientes.

- **Guía de análisis documental:** Este instrumento se aplicará con el propósito de recolectar información sobre los métodos de reducción de demoras de carguío y acarreo mediante el sistema de gestión de flotas Wenco, empleando el diagrama de Pareto para su análisis, teniendo en cuenta tablas realizadas exportadas al software Excel, Modelo de tiempos-ASARCO, indicadores KPI y el diagrama de Ishikawa.
- **Guía de observación:** Este instrumento se aplicará con la finalidad de que se recolecte información sobre sus tiempos de demoras de carguío y acarreo, utilizando mediante el sistema de gestión de flotas Wenco que nos permitirá obtener las guías de observación de la cantidad de horas de demoras operativas y la eficiencia operacional del equipo.

4.5. Análisis estadístico

Esta base de datos recolectada mediante los instrumentos, han sido analizados mediante herramientas informáticas como el software estadístico Excel para que se analice sus datos en cuanto a sus tiempos de demoras de acarreo, lo cual, permitirá realizar métodos de reducción de estas principales demoras significativas para el mejoramiento la eficiencia operacional.

CAPITULO V:

5. RESULTADOS

5.1. Analizar cómo los diagnósticos de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo contribuyen a la mejora en la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

Para diagnosticar las principales demoras operativas, primero se diagnosticará los tiempos de demoras de carguío y acarreo para los meses de enero hasta abril en el periodo 2021, teniendo en cuenta a la flota de acarreo de 7 camiones CAT 777F.

En esta tabla 3 se muestra los tiempos de demoras de carguío y acarreo desde el mes de enero hasta abril, donde en el mes de enero se encontró gran cantidad de horas para Refrigerio-Descanso con 405.53 h (36.86%), para Cambio de Guardia con 244.58 h (22.23%) y para Cambio de Turno con 221.43 h (20.12%); en el mes de febrero se encontró gran cantidad de horas para se encontró gran cantidad de horas para Refrigerio-Descanso con 296.77 h (34.50%), para Cambio de Guardia con 235.89 h (27.42%) y para Cambio de Turno con 181.81 h (21.13%); en el mes de marzo se encontró gran cantidad de horas para se encontró gran cantidad de horas para Refrigerio-Descanso con 241.95 h (32.01%), para Cambio de Guardia con 188.54 h (24.94%) y para Cambio de Turno con 183.07 h (24.22%); finalmente en el mes de abril se encontró gran cantidad de horas para se encontró gran cantidad de horas para Refrigerio-Descanso con 324.28 h (35.63%), para Cambio de Guardia con 238.99 h (26.26%) y para Cambio de Turno con 132.94 h (14.61%).

Tabla 7. Tiempos de demoras de acarreo – Enero hasta abril 2021

Tiempos de demoras de acarreo								
	Duración (h)				Duración (%)			
Tiempo de demora	ENE	FEB	MAR	ABR	ENE	FEB	MAR	ABR
Abastecimiento combustible	14.24	15.56	20.32	23.73	1.5%	1.8%	2.9%	3.0%
Arreglo de Pisos				0.79				0.1%
Calentamiento de Equipo	5.11	7.39	4.07	3.19	0.5%	0.9%	0.6%	0.4%
Cambio de Guardia	244.58	235.89	188.54	238.99	25.9%	27.4%	27.0%	30.7%
Cambio Turno	221.43	181.81	183.07	132.94	23.5%	21.1%	26.2%	17.1%
Charla de seguridad	16.26		11.95	25.63	1.7%		1.7%	3.3%
Clima Severo (tormenta - neblina)		5.32				0.6%		
Condiciones Operativas		2.78				0.3%		
Espera por chancadora	12.30	21.96	17.26	8.19	1.3%	2.6%	2.5%	1.1%
Esperando en chancadora								
Falta equipo de carguío		37.64				4.4%		
Fatiga_	0.58	4.08	2.02	0.95	0.1%	0.5%	0.3%	0.1%
Limpieza equipo								
Limpieza tolva	5.22	3.56	6.99	4.88	0.6%	0.4%	1.0%	0.6%
Refrigerio-Descanso	405.53	296.77	241.95	324.28	43.0%	34.5%	34.6%	41.6%
Relevo de operador	5.91	11.05	1.89	2.29	0.6%	1.3%	0.3%	0.3%
Revisión Sistema Wenco	0.00				0.0%			
Revisión y chequeo	1.83	2.43	1.86	2.25	0.2%	0.3%	0.3%	0.3%
SSHH	0.43	0.42	0.09	0.38	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Stand By en Taller		17.25				2.0%		
Traslado de equipo de carguío	7.13	13.69	7.53	4.62	0.8%	1.6%	1.1%	0.6%
Voladura	2.45	2.73	10.90	5.54	0.3%	0.3%	1.6%	0.7%
TOTAL	943.00	860.31	698.43	779.23	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla 4 se muestra los tiempos de demoras de carguío y acarreo desde el mes de mayo hasta agosto, donde en el mes de mayo se encontró gran cantidad de horas para Refrigerio-Descanso con 315.3 h (50.23%%), para Cambio de Guardia con 191.80 h (30.55%) y para Cambio de Turno con 42.63 h (6.79%); en el mes de junio se encontró gran cantidad de horas para se encontró gran cantidad de horas para Cambio de Guardia con 101.85 h (36.27%), para Refrigerio-Descanso con 97.02 h (34.55%) y para Cambio de Turno con 29.91 h (10.65%). Por otro lado, en el mes de julio se encontró gran cantidad de horas para se encontró gran cantidad de horas para Refrigerio-Descanso con 366.23 h (47.85%), para Cambio de Guardia con 215.70 h (28.18%) y para Cambio de Turno con 78.21 h (10.22%); finalmente en el mes de agosto se encontró gran cantidad de horas para se encontró gran cantidad de horas para Refrigerio-Descanso con 344.93 h (46.65%), para Cambio de Guardia con 228.59 h (30.91%) y para Cambio de Turno con 56.78 h (7.68%).

Tabla 8. *Tiempos de demoras de acarreo – Mayo hasta agosto 2021*

Tiempos de demoras de acarreo								
	Duración (h)				Duración (%)			
Tiempo de demora	MAY	JUN	JUL	AGO	MAY	JUN	JUL	AGO
Abastecimiento combustible	35.63	31.22	29.99	35.26	5.7%	4.0%	3.9%	4.8%
Arreglo de Pisos		1.23		0.00		0.2%		0.0%
Calentamiento de Equipo	9.20	9.19	10.57	5.84	1.5%	1.2%	1.4%	0.8%
Cambio de Guardia	191.80	249.13	215.70	228.59	30.6%	31.8%	28.2%	30.9%
Cambio Turno	42.63	72.47	78.21	56.78	6.8%	9.3%	10.2%	7.7%
Charla de seguridad		36.44	13.57	18.93		4.7%	1.8%	2.6%
Clima Severo (tormenta - neblina)								
Condiciones Operativas								
Espera por chancadora	11.01	8.76	15.89	11.30	1.8%	1.1%	2.1%	1.5%
Esperando en chancadora								

Falta equipo de carguío								
Fatiga_	3.04	6.28	7.28	6.58	0.5%	0.8%	1.0%	0.9%
Limpieza equipo			0.04				0.0%	
Limpieza tolva	2.56	1.00	1.91	3.48	0.4%	0.1%	0.2%	0.5%
Refrigerio-Descanso	315.30	350.02	366.23	344.93	50.2%	44.7%	47.8%	46.6%
Relevo de operador	1.97	7.69	4.78	3.07	0.3%	1.0%	0.6%	0.4%
Revisión Sistema Wenco	0.89		0.00	0.07	0.1%		0.0%	0.0%
Revisión y chequeo	1.66	0.28	5.97	3.30	0.3%	0.0%	0.8%	0.4%
SSHH	0.45	0.67	0.46	0.45	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Stand By en Taller								
Traslado de equipo de carguío								
Voladura	1.98	4.20	9.17	9.14	0.3%	0.5%	1.2%	1.2%
TOTAL	9.62	4.23	5.67	11.73	1.5%	0.5%	0.7%	1.6%

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla 5 se muestra los tiempos de demoras de carguío y acarreo desde el mes de setiembre hasta diciembre, donde en el mes de setiembre se encontró gran cantidad de horas para Refrigerio-Descanso con 310.14 h (41.95%), para Cambio de Guardia con 271.34 h (36.70%) y para Cambio Turno con 65.28 h (8.83%); en el mes de octubre se encontró gran cantidad de horas para se encontró gran cantidad de horas para Refrigerio-Descanso con 333.99 h (51.63%), para Cambio de Guardia con 128.76 h (19.91%) y para Cambio Turno con 80.11 h (12.38%). Por otro lado, en el mes de noviembre se encontró gran cantidad de horas para se encontró gran cantidad de horas para Refrigerio-Descanso con 239.74 h (48.62%), para Cambio Turno con 83.63 h (17.57%) y para Cambio de Guardia con 69.80 h (14.16%); finalmente en el mes de diciembre se encontró gran cantidad de horas para se encontró gran cantidad de horas para Refrigerio-Descanso con 258.77 h (44.50%), para Cambio de Guardia con 106.86 h (18.38%) y para Cambio Turno con 85 h (14.62%).

Tabla 9. Tiempos de demoras de acarreo – Setiembre hasta diciembre 2021

Tiempos de demoras de acarreo								
	Duración (h)				Duración (%)			
Tiempo de demora	SET	OCT	NOV	DIC	SET	OCT	NOV	DIC
Abastecimiento combustible	35.51	35.78	42.90	32.45	4.8%	5.5%	8.7%	5.6%
Arreglo de Pisos				10.77				1.9%
Calentamiento de Equipo	6.14	6.22	2.52	2.93	0.8%	1.0%	0.5%	0.5%
Cambio de Guardia	271.34	128.76	69.80	106.86	36.7%	19.9%	14.2%	18.4%
Cambio Turno	65.28	80.11	86.63	85.00	8.8%	12.4%	17.6%	14.6%
Charla de seguridad	4.45	10.56	14.51	49.42	0.6%	1.6%	2.9%	8.5%
Clima Severo (tormenta - neblina)								
Condiciones Operativas								
Espera por chancadora	14.29	15.41	7.10	2.76	1.9%	2.4%	1.4%	0.5%
Esperando en chancadora		0.13				0.0%		
Falta equipo de carguío								
Fatiga_	5.97	5.72	4.49	11.35	0.8%	0.9%	0.9%	2.0%
Limpieza equipo				0.04				0.0%
Limpieza tolva	3.52	2.55	2.99	0.89	0.5%	0.4%	0.6%	0.2%
Refrigerio-Descanso	310.14	333.99	239.74	258.77	41.9%	51.6%	48.6%	44.5%
Relevo de operador	1.06	1.69	4.02	2.89	0.1%	0.3%	0.8%	0.5%
Revisión Sistema Wenco		0.43				0.1%		
Revisión y chequeo	5.05	0.53	7.09	0.60	0.7%	0.1%	1.4%	0.1%
SSHH	0.39	0.36	0.16	0.13	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
Stand By en Taller								
Traslado de equipo de carguío				0.15				0.0%
Voladura	6.82	9.99	11.17	3.59	0.9%	1.5%	2.3%	0.6%
TOTAL	9.41	14.64		12.88	1.3%	2.3%		2.2%

Fuente: Elaboración propia

5.2. Evaluar cómo el impacto de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo afecta a la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

Para determinar el impacto generado por estas principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo se calculará la eficiencia operacional de la flota de acarreo de los 7 camiones CAT 777F.

De tal manera que para calcular la eficiencia operacional de esta flota acarreo se tendrá en cuenta el KPI con datos reales de la Unidad Minera Pucamarca adquiridos de reportes diarios de los equipos de carguío y acarreo.

Esta eficiencia operacional se determinará con la formula siguiente:

$$\frac{\text{Eficiencia}}{\text{Operacional}} = \frac{\text{Operativo}}{\text{Operativo} + \text{Demora}}$$

En esta tabla 9, se puede observar que, en cuanto a la flota de carguío, donde se trabajó con 2 cargadores frontales que se encuentran detalladas en la tabla 7.

Tabla 10. Clasificación de tiempos de la flota acarreo 2021

Equipo	Operativo	Demora	Stand by	Mantenimiento
CA01	6,458.74	1,212.61	253.68	834.98
CA02	6,297.25	1,204.72	269.85	988.18
CA03	6,261.11	1,344.67	239.72	914.40
CA04	6,650.93	1,037.03	228.78	843.26
CA05	6,852.36	1,140.68	189.18	577.78
CA06	6,814.99	1,134.35	226.64	584.01
CA07	6,314.42	1,355.91	323.40	766.28
	45,649.80	8,429.96	1,731.24	5,508.90

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla 10, se puede observar que, en cuanto a la flota de acarreo, donde se trabajó con 7 camiones que se encuentran detalladas en la tabla 8. De tal manera que en el CA-1 sus horas operativas fueron de 6,458.74 h, el tiempo total de demoras fue de 1,212.61 h,

el tiempo total en stand by fue de 253.68 h y sus horas totales de mantenimiento fueron de 834.98 h, de esta manera se obtuvo como eficiencia operacional el 84.19%. Para el CA-2 sus horas operativas fueron de 6,297.25 h, el tiempo total de demoras fue de 1,204.72 h, el tiempo total en stand by fue de 269.85 h y sus horas totales de mantenimiento fueron de 988.18 h, de esta manera se obtuvo como eficiencia operacional el 83.94%. Para el CA-3 sus horas operativas fueron de 6,261.11 h, el tiempo total de demoras fue de 1,344.67 h, el tiempo total en stand by fue de 239.72 h y sus horas totales de mantenimiento fueron de 914.40 h, de esta manera se obtuvo como eficiencia operacional el 82.32%. Para el CA-4 sus horas operativas fueron de 6,650.93 h, el tiempo total de demoras fue de 1,037.03 h, el tiempo total en stand by fue de 228.78 h y sus horas totales de mantenimiento fueron de 843.26 h, de esta manera se obtuvo como eficiencia operacional el 86.51%. Para el CA-5 sus horas operativas fueron de 6,852.36 h, el tiempo total de demoras fue de 1,140.68 h, el tiempo total en stand by fue de 189.18 h y sus horas totales de mantenimiento fueron de 577.78 h, de esta manera se obtuvo como eficiencia operacional el 85.73%. Para el CA-6 sus horas operativas fueron de 6,814.99 h, el tiempo total de demoras fue de 1,134.35 h, el tiempo total en stand by fue de 226.64 h y sus horas totales de mantenimiento fueron de 584.01 h, de esta manera se obtuvo como eficiencia operacional el 85.73%. Para el CA-7 sus horas operativas fueron de 6,314.42 h, el tiempo total de demoras fue de 1,355.91h, el tiempo total en stand by fue de 323.40 h y sus horas totales de mantenimiento fueron de 766.28 h, de esta manera se obtuvo como eficiencia operacional el 82.32%.

Como cálculo global de toda la flota de acarreo se obtuvo un valor de 84.41% de eficiencia operacional, entre los 7 camiones 777F CAT.

Tabla 11. *Cálculo de la eficiencia operacional de la flota acarreo 2021*

	Operativo	Demora	Stand by	Mantenimiento	Eficiencia Operacional
CA01	6,458.74	1,212.61	253.68	834.98	84.19%
CA02	6,297.25	1,204.72	269.85	988.18	83.94%
CA03	6,261.11	1,344.67	239.72	914.40	82.32%
CA04	6,650.93	1,037.03	228.78	843.26	86.51%
CA05	6,852.36	1,140.68	189.18	577.78	85.73%
CA06	6,814.99	1,134.35	226.64	584.01	85.73%
CA07	6,314.42	1,355.91	323.40	766.28	82.32%
	45,649.80	8,429.96	1,731.24	5,508.90	84.41%

Fuente: Elaboración propia

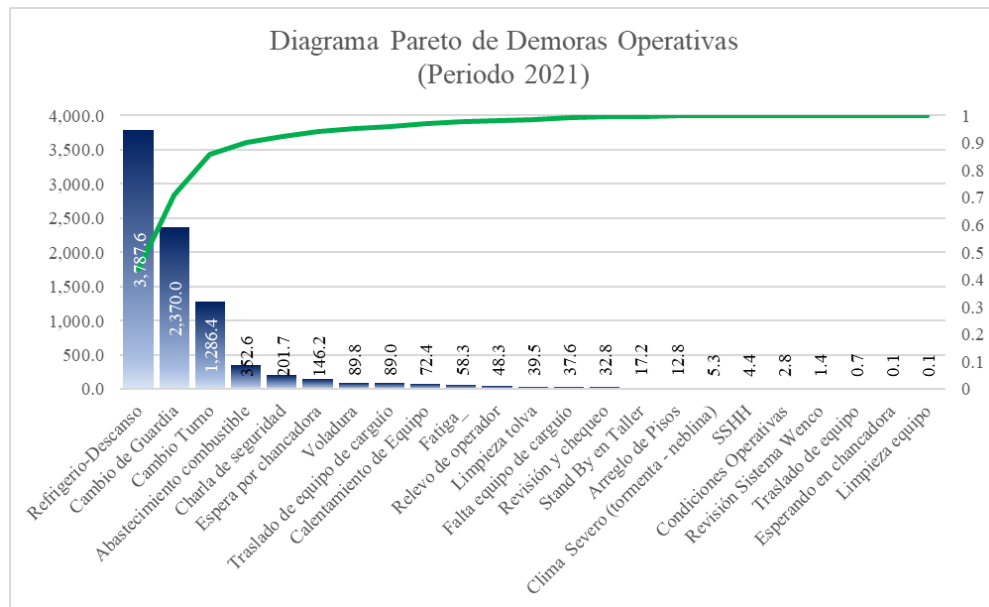
5.3. Determinar cómo las implementaciones de controles para reducir las demoras en los ciclos de carguío y acarreo contribuyen a la mejora en la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

Las alternativas de mejora de la eficiencia operacional en estas operaciones mineras que se tuvieron en cuenta fueron tres métodos de reducción de demoras de acarreo.

El primer método es el Diagrama de Pareto, donde es un método que sirve para identificar el tiempo de demoras de acarreo.

En esta figura 4, se puede observar el tiempo de demoras de acarreo, mediante el Diagrama de Pareto, donde la mayor cantidad de horas fue para el Refrigerio-Descanso con 3,878.6 h, siendo equivalente con un 43.75% acumulado. De tal manera, que de acuerdo a este método se pudo identificar el mayor tiempo de demoras que se da en acarreo, ayudando a poder mejorar los tiempos en este ciclo.

Figura 11. *Diagrama de Pareto-Tiempo de demoras de acarreo*

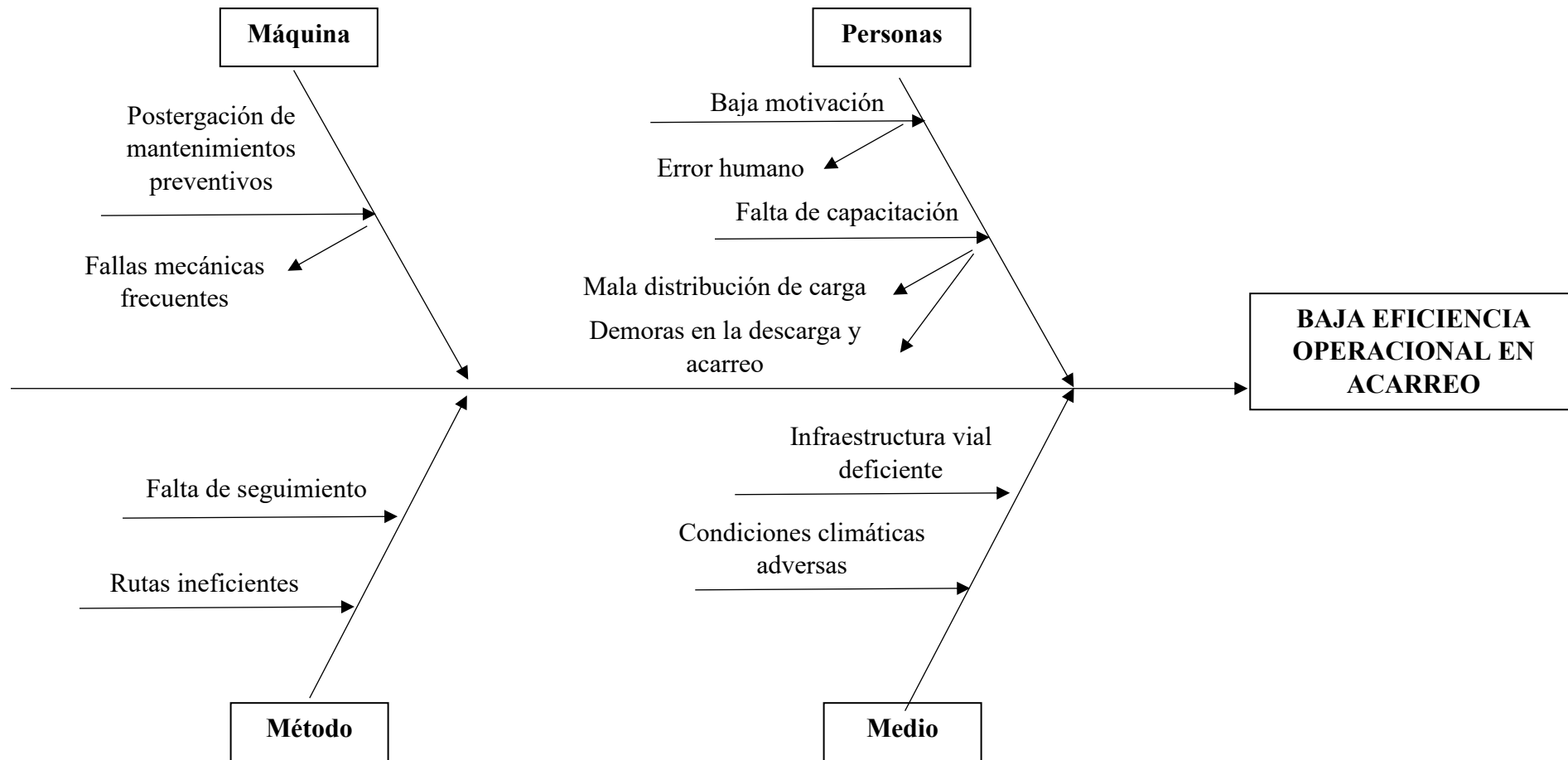


Fuente: Elaboración propia

El segundo método es el Diagrama de Ishikawa, donde va a permitir identificar las posibles causas y efectos del problema especificado en esta investigación y a partir de ello se pueda generar una mejora en la eficiencia operacional de los equipos de acarreo en la Unidad Minera Pucamarca.

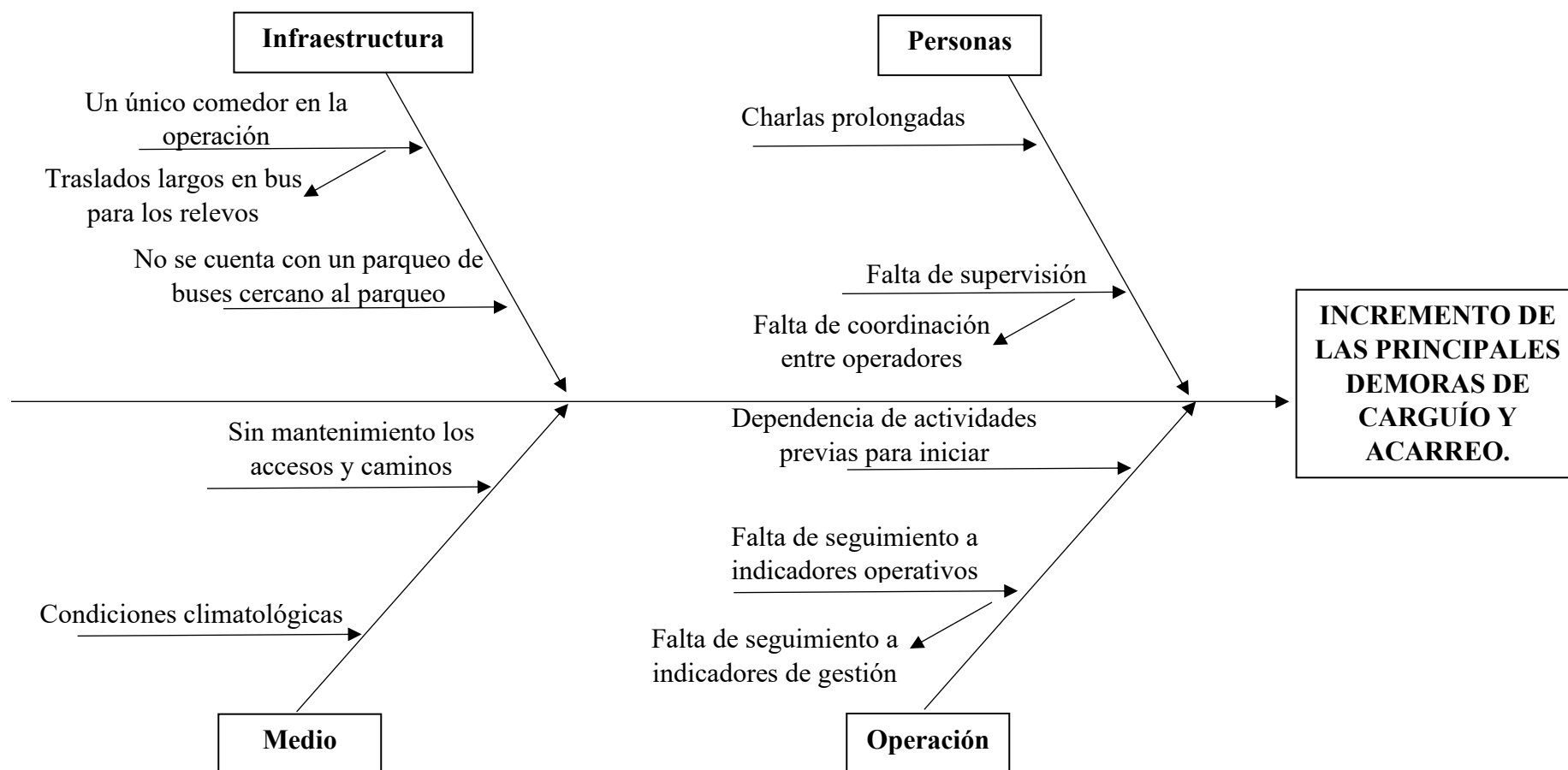
Por un lado, se realizará el diagrama de Ishikawa para el problema principal de esta investigación, donde en la figura 9 se puede observar el diagrama de Ishikawa de la eficiencia operacional en acarreo, demostrando las causas y efectos de este problema; por otro lado, en la figura 10 se puede observar el diagrama de Ishikawa para el incremento de las principales demoras de carguío y acarreo, asimismo, demuestra las causas y efectos de este problema.

Figura 12. *Diagrama de Ishikawa 1*



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. *Diagrama de Ishikawa 2*



Fuente: Elaboración propia

Como tercer método, se aplicarán alternativas de mejora con base en las demoras más significativas identificadas y a las causas que conllevan a incurrir en las mismas.

De acuerdo a los métodos anteriormente aplicados, se determinó que las principales demoras operativas en el periodo 2021, detalladas en la Tabla 12, en el cual la principal demora es la de Refrigerio-Descanso con 3,787.64 h, seguida por Cambio de Guardia con 2,369.98 h y finalmente Cambio de Turno con 1,286.35.

Tabla 12. *Principales demoras en Acarreo 2021 (h)*

Principales Demoras	Tiempo en horas
Refrigerio-Descanso	3,787.64
Cambio de Guardia	2,369.98
Cambio Turno	1,286.35

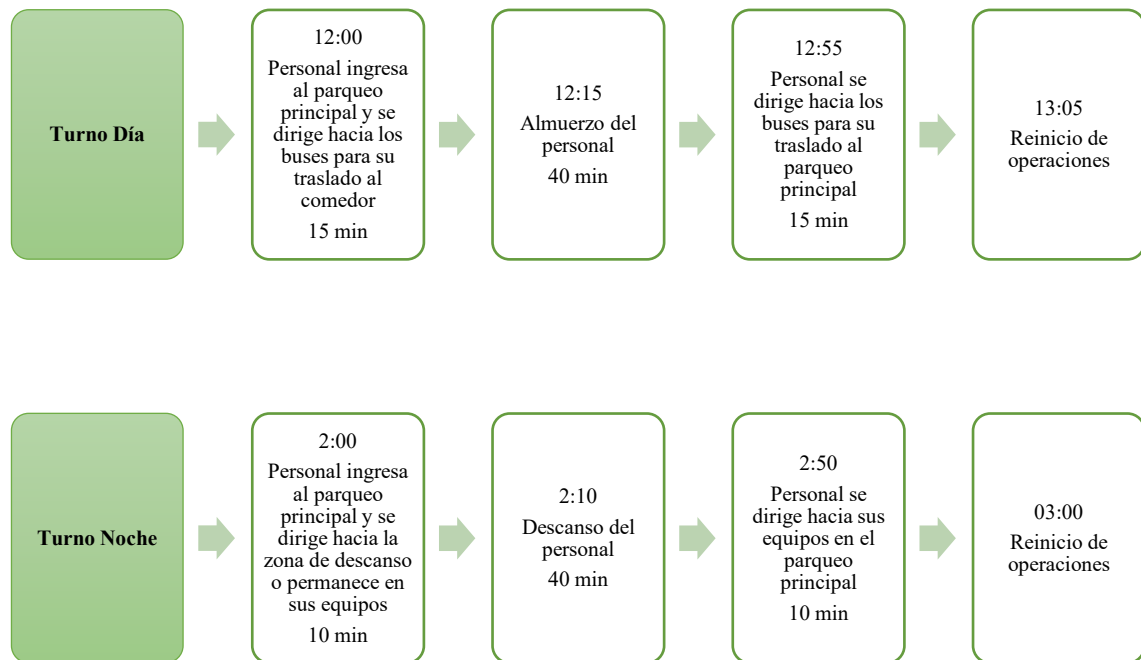
Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, vamos a definir cada una de las demoras principales:

Respecto a la demora de Refrigerio-Descanso, como se detalla en la Figura 14, es el tiempo empleado en almorzar y/o descansar. Por temas sindicales y de contrato, la Refrigerio-Descanso debe ser de cuarenta y cinco (45) minutos, por lo que los operadores no pueden tener menos de ese tiempo por persona.

Existen 2 escenarios, que se diferencian por el turno de trabajo. Para el turno diurno, existen tiempos que son agregados al tiempo de Refrigerio-Descanso como lo es el desplazamiento de los operadores desde que se retiran de los equipos hasta que llegan al comedor, considerándose un tiempo aproximado de quince (15) minutos de traslado en bus al sector del comedor. Para el turno nocturno, los tiempos que son agregados al tiempo de Refrigerio-Descanso como lo es el desplazamiento de los operadores desde que se retiran de los equipos hasta que llegan al parqueo, considerándose un tiempo aproximado de quince (10) minutos de traslado al sector del descanso.

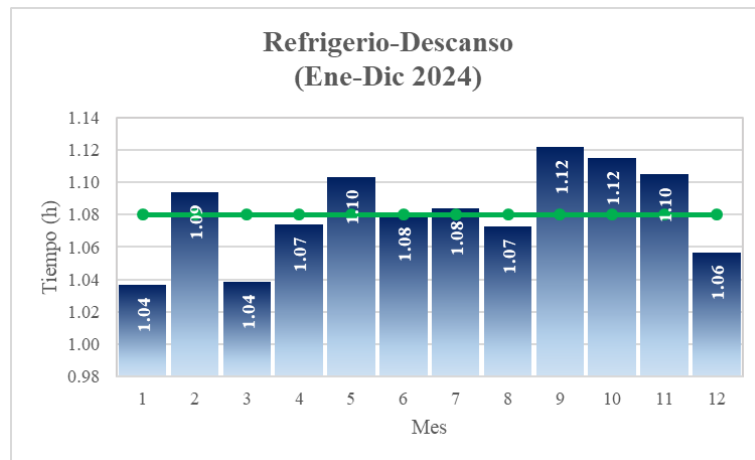
Figura 14. *Línea de tiempo Refrigerio-Descanso Actual*



Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que existe un único comedor cercano a la operación, donde concurren personal de diversas áreas, por lo cual en ocasiones dicha demora se extiende a más de una hora en promedio. Tal como se puede ver en la Figura 15, en el cual se observa que todos los meses analizados, la demora es mayor a una hora y el promedio es de 1.08 h.

Figura 15. Refrigerio-Descanso promedio en el periodo Ene-Dic 2021



Fuente: Elaboración propia

Como segunda demora significativa se tiene al Cambio de Guardia, que es el tiempo en el cual el equipo se encuentra detenido por falta de operador afectado principalmente por la rotación de personal de turno noche a turno día. En el caso de Pucamarca el régimen de trabajo es de 14x7 con un inicio de guardia en turno nocturno para posteriormente rotar a turno día en dos bloques (50-50).

El último día laborado por cada guardia, cierra a mediodía. Durante la tarde se cubre la operación con el 50% del personal de la guardia que estaba trabajando en turno noche).

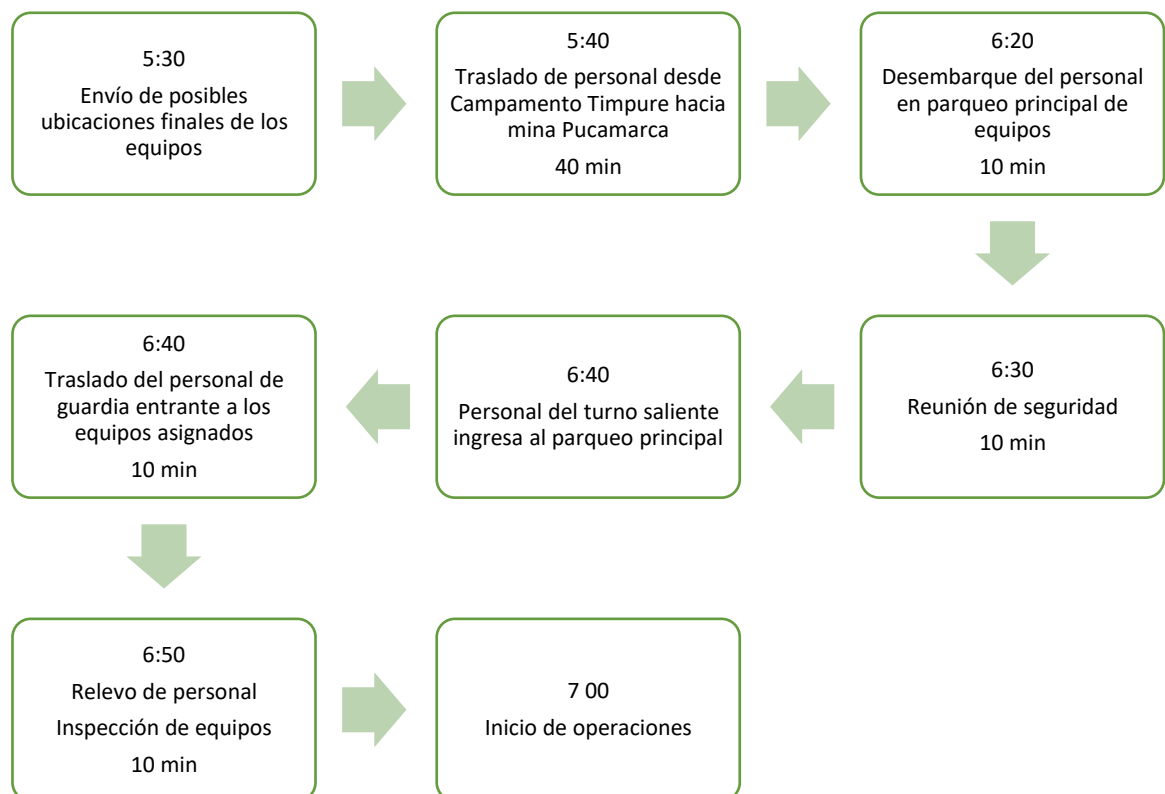
Figura 16. Rotación de personal de todas las guardias para el área de mina

	Ene-24																																
	lun	mar	mié	jue	vie	sab	dóm	lun	mar	mié	jue	vie	sab	dóm	lun	mar	mié	jue	vie	sab	dóm	lun	mar	mié	jue	vie	sab	dóm	lun	mar	mié		
Guardias	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
A (50%)	D	D	D	D	N	N	N	N	N	OFF	P	P	P	P	P	P	P	P	D	D	D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N		
A (50%)	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N	N	N	OFF	P	P	P	P	P	D	D	D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N	OFF	
B (50%)	P	P	P	P	D	D	D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N	OFF	P	P	P	P	P	P	P	D	D	D	D	D	D	D	
B (50%)	P	P	P	P	D	D	D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N	N	N	OFF	P	P	P	P	P	D	D	D	D	D	D	D	
C (50%)	N	N	OFF	P	P	P	P	P	P	P	P	D	D	D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N	N	OFF	P	P	P	P	P	P	
C (50%)	N	N	N	N	N	OFF	P	P	P	P	P	D	D	D	D	D	D	D	N	N	N	N	N	N	OFF	P	P	P	P	P	P	P	

Fuente: Elaboración propia

Luego tenemos a la demora de Cambio Turno, que es el tiempo empleado en realizar el cambio de operador al equipo una vez que finaliza el turno que está operando. Los operadores del turno saliente deben informar a los operadores del turno entrante las características, condiciones de la operación, eventualidades técnicas del equipo (razón de seguridad), y los caminos habilitados para efectuar el ciclo de transporte. Los operadores del turno saliente deben dejar los equipos en los parqueos habilitados para el estacionamiento y los operadores del turno entrante deben emprender el viaje a dichos parqueos para hacer el cambio.

Figura 17. *Línea de tiempo Cambio Turno*

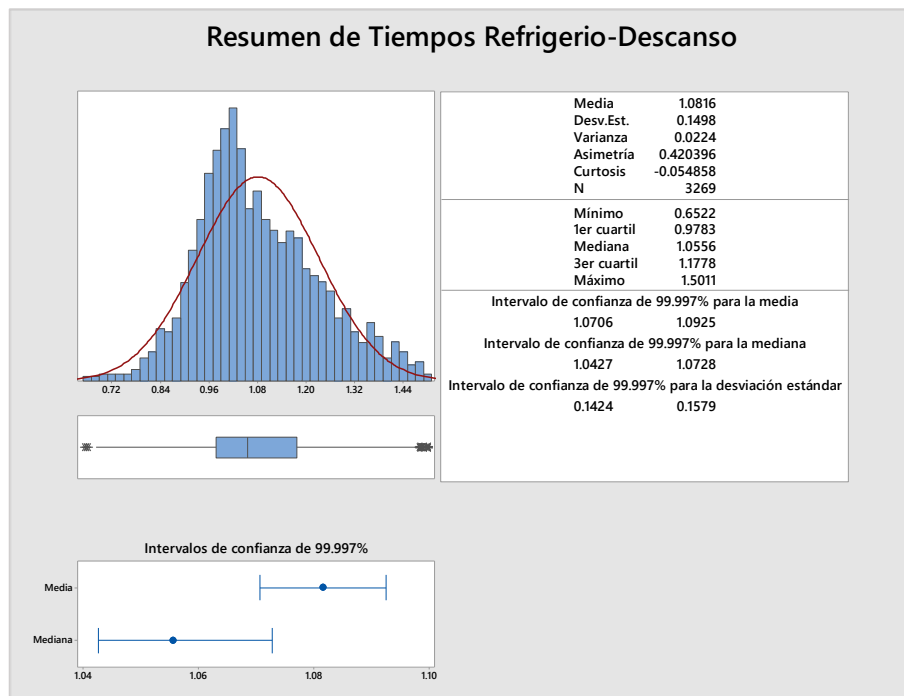


Fuente: Elaboración propia

Con los conceptos definidos, vamos a establecer las alternativas de mejora respectivas.

Respecto a las demoras de Refrigerio-Descanso, se tiene un total de 3,787.64 h durante el periodo enero-diciembre 2021. El tiempo promedio de Refrigerio-Descanso es de 1.08 h con una desviación estándar de 0.15 h. De los 3,527 datos del periodo enero-diciembre 2021, se omitieron 258 datos outlier tomando en consideración el método del rango intercuartil. Aplicando el análisis con el software Minitab, se obtuvo los datos detallados en el Figura 18.

Figura 18. *Resumen Estadístico de Tiempos de Refrigerio-Descanso*

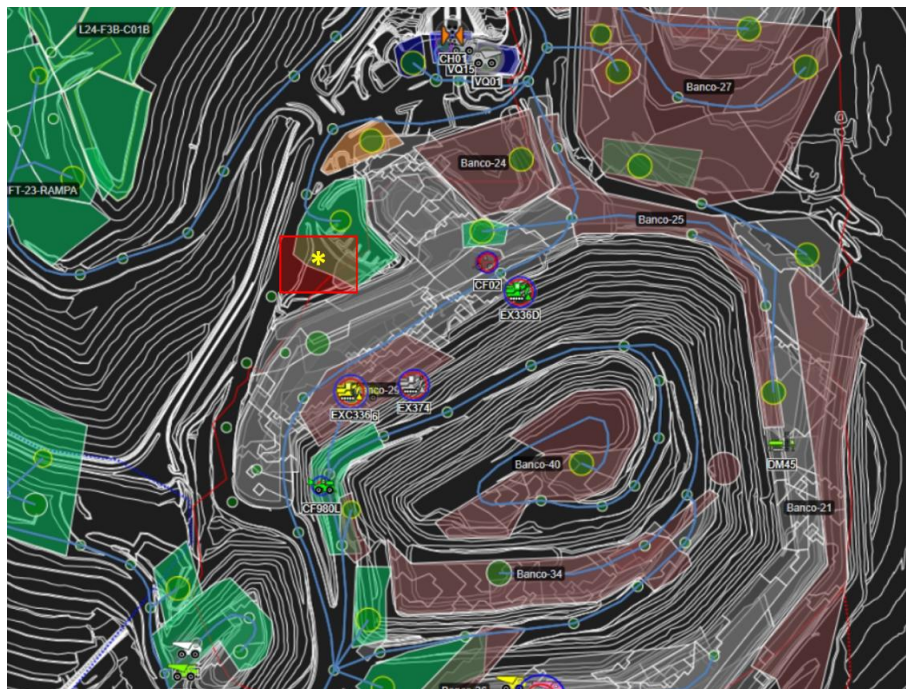


Fuente: Elaboración propia.

Se toma como referencia a Y. Hinojosa (2022), quien plantea la implementación de zonas de relevo de personal en parqueos a desnivel específicos con la finalidad de incrementar la productividad en el acarreo para la mina Constancia. En el cual como escenario base se tiene un tiempo promedio para el relevo de operadores de 0.52 h y al aplicar la estrategia de las bahías a desnivel para realizar el cambio en caliente, dicho tiempo base se reduce en 0.49 h.

En el caso de mina Pucamarca, se cuenta con una plataforma amplia en el centro de la operación, como se puede observar en la Figura 19, lo cual lo convierte en un punto estratégico de asignación para relevo de personal.

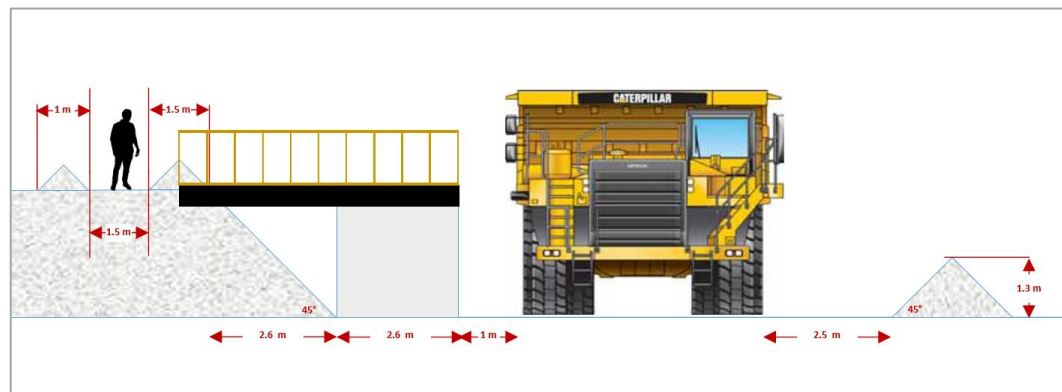
Figura 19. *Ubicación de Infraestructura de Cambio de Guardia en Caliente, mina Pucamarca*



Fuente: Captura de pantalla del Mapa en la aplicación Fleet Control del sistema Wenco

Con lo cual el diseño establecido por el equipo de operaciones mina es el que se observa en las figuras 20 y 21, en el cual se contempla tránsito de camiones cargados o vacíos con ancho para un camión y el muro de seguridad que divide el tránsito con respecto a la vía de acarreo es 1.3 metros que equivale a la mitad del alto de neumático de la flota de acarreo con camiones 777F.

Figura 20. *Vista de perfil para Bahías de Cambio de Guardia en Caliente*



Fuente: Adaptación del diseño planteado por Y. Hinojosa

Figura 21. *Vista de planta para Bahías de Cambio de Guardia en Caliente*



Fuente: Adaptación del diseño planteado por Y. Hinojosa

Se inició con la implementación de la infraestructura detallada anteriormente, el cual cuenta con un avance de las nuevas bahías de cambio de guardia en caliente del 60%, tal como se observa en la Figura 22, debido a que aún se tiene pendiente las siguientes actividades:

- Señalización de la zona
- Adaptación de la plataforma móvil para acceder a los camiones
- Corte de las barandas de los camiones
- Adaptación de cadenas de seguridad para la zona de la baranda cortada en los camiones

Figura 22. *Avance de Infraestructura de Cambio de Guardia en Caliente, mina Pucamarca*



Fuente: Elaboración propia

Adicional a lo mencionado a las nuevas bahías de relevo, se propone implementar un nuevo comedor aledaño a la zona de relevo. Una zona estratégica es la plataforma adyacente a la nueva zona de cambio en caliente, la cual cuenta con 4 contenedores sin uso adicional al de reuniones que además cuenta con servicios higiénicos.

Por lo cual se propone la distribución mostrada en la Figura 23, lo permite implica implementar una nueva zona de comedor/sala de capacitaciones y una zona de descanso, con lo que los tiempos de traslado se reducirían.

Figura 23. *Avance de Infraestructura de Cambio de Guardia en Caliente, mina Pucamarca*



Fuente: Elaboración propia

Para la implementación del nuevo comedor, se debe considerar contratar 3 personas de la empresa que brinda el servicio de alimentación distribuidos de la siguiente manera como se detalla en la Tabla 13.

Tabla 13. *Inversión en personal adicional en el servicio de alimentación*

Personal adicional en el servicio de alimentación		
Ocupación	Cantidad	Remuneración
Conductor	01	S/ 3,500.0
Recepción	01	S/ 3,500.0
Atención	01	S/ 3,500.0
Total por guardia	03	S/ 10,500.0
Total general	09	S/ 31,500.0

Fuente: Elaboración propia

Con lo cual el tiempo de Refrigerio-Descanso se reduciría a 0.92 h por equipo. Ya que los traslados se reducen a solo 5 min, debido a que esta nueva infraestructura propone un comedor cercano a la zona de relevos.

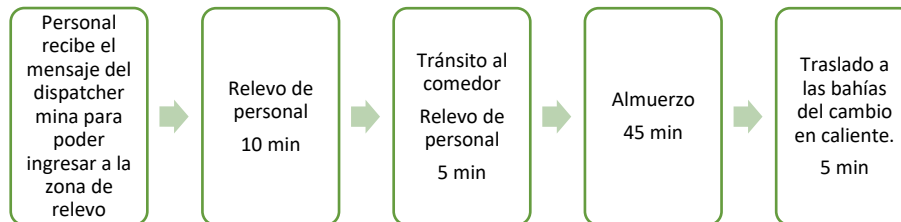
Cabe mencionar que debido a las habilidades con las que cuentan los operadores, se pueden organizar los horarios de Refrigerio-Descanso en grupos para evitar paradas prolongadas en esta demora, con lo cual algunos operadores deben ser relevados para que no se interrumpa la operación. Y así asegurar la continuidad de acarreo de mineral puesto en pad, para lo cual se requiere 5 camiones y 1 cargador.

Además, se debe considerar que los procesos de voladura se realizan al mediodía, con una frecuencia de 2 voladuras por semana, lo cual implica que esos 2 únicos días por semana se detendrá toda la flota de carguío y acarreo.

Con lo cual se tienen 2 nuevos escenarios

En un primer caso para relevo de personal, detallado en la Figura 24, hace referencia a las unidades que continuarían transitando durante el horario de Refrigerio-Descanso, el cual inicia con una asignación a las bahías de cambio en caliente para el relevo.

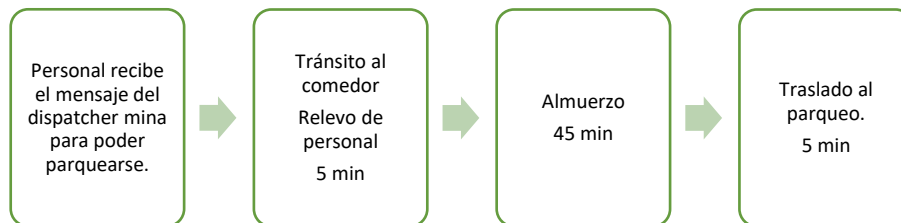
Figura 24. *Escenario 1: Línea de tiempo Refrigerio-Descanso*



Fuente: Elaboración propia

En un segundo caso, descrito en la Figura 25, se detalla el escenario en el cual incluye a las unidades que se detendrán durante el horario de Refrigerio-Descanso, el cual inicia con una asignación al parqueo para su detención temporal.

Figura 25. *Escenario 2: Línea de tiempo Refrigerio-Descanso*



Fuente: Elaboración propia

Acorde a lo mencionado, se realiza el cálculo de horas incurridas en la demora Refrigerio-Descanso para una semana de trabajo en turno diurno, el cual se detalla en la Tabla 14 cuya finalidad es asegurar la continuidad de acarreo de mineral puesto en pad, para lo cual se requiere 5 camiones y 1 cargador.

Tabla 14. *Cálculo de tiempo Refrigerio-Descanso a la semana en Turno Día*

Voladura	Día	N° Camiones		Tiempo (h)
		Transitando	Detenidos	
No	Lunes	5	2	1.83
Sí	Martes	0	7	6.42
No	Miércoles	5	2	1.83
No	Jueves	5	2	1.83
Sí	Viernes	0	7	6.42
No	Sábado	5	2	1.83
No	Domingo	5	2	1.83
Total por semana Turno Día				22.00

Fuente: Elaboración propia

Se puede aplicar la misma estrategia en la continuidad de acarreo de mineral puesto en pad para el turno noche, para lo cual se requiere 5 camiones y 1 cargador. Acorde a lo mencionado, en la Tabla 15 se observa el cálculo de horas incurridas en la demora Refrigerio-Descanso para una semana de trabajo en turno nocturno.

Tabla 15. *Cálculo de tiempo Refrigerio-Descanso a la semana en Turno Noche*

Voladura	Día	N° Camiones		Tiempo (h)
		Transitando	Detenidos	
No	Lunes	5	2	1.83
No	Martes	5	2	1.83
No	Miércoles	5	2	1.83
No	Jueves	5	2	1.83
No	Viernes	5	2	1.83
No	Sábado	5	2	1.83
No	Domingo	5	2	1.83
Total por semana Turno Noche				12.83

Fuente: Elaboración propia

Se realiza el cálculo conjunto para un año, de aplicar la estrategia de dar continuidad de acarreo de mineral puesto en pad para ambos turnos, lo cual implica la operación de 5 camiones y 1 cargador, se obtiene en la Tabla 16 un total de 1,815.00 h.

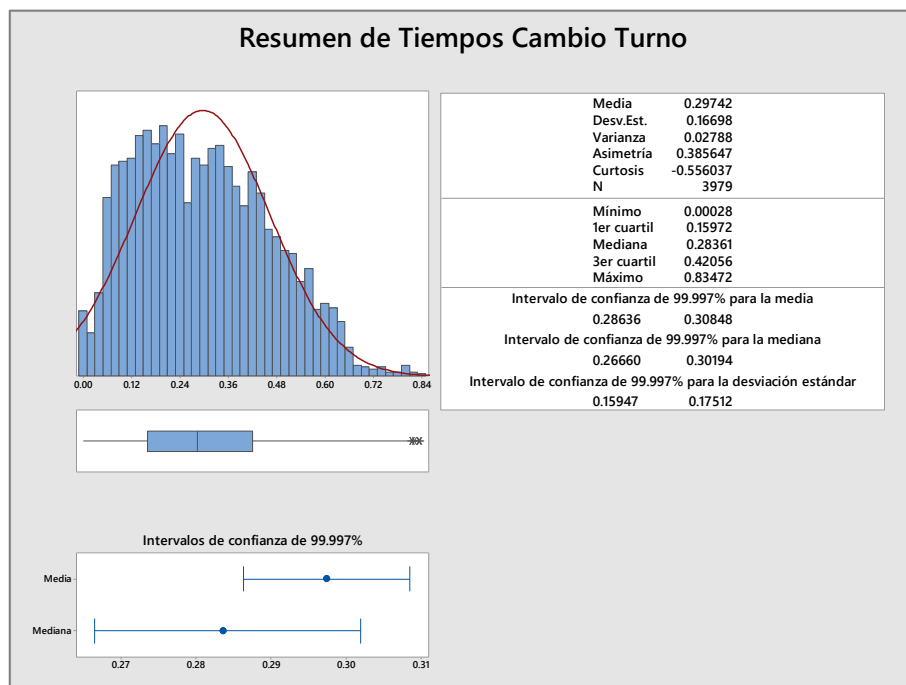
Tabla 16. *Cálculo de tiempo Refrigerio-Descanso*

	Tiempo (h)
Total por semana Turno Día	22.00
Total por semana Turno Noche	12.83
Total por semana Ambos Turnos	34.83
Total Anual	1,815.00

Fuente: Elaboración propia

Respecto al tiempo de Cambio Turno, se tiene un total de 1,286.35 h durante el periodo enero-diciembre 2021. El tiempo promedio para la demora Cambio Turno es de 0.30 h con una desviación estándar de 0.17 h. De los 4,013 datos para el periodo enero-diciembre 2021, se omitieron 34 datos outlier para lo cual se empleó el método del rango intercuartil. Aplicando el análisis con el software Minitab, se obtuvo los datos detallados en el Figura 26.

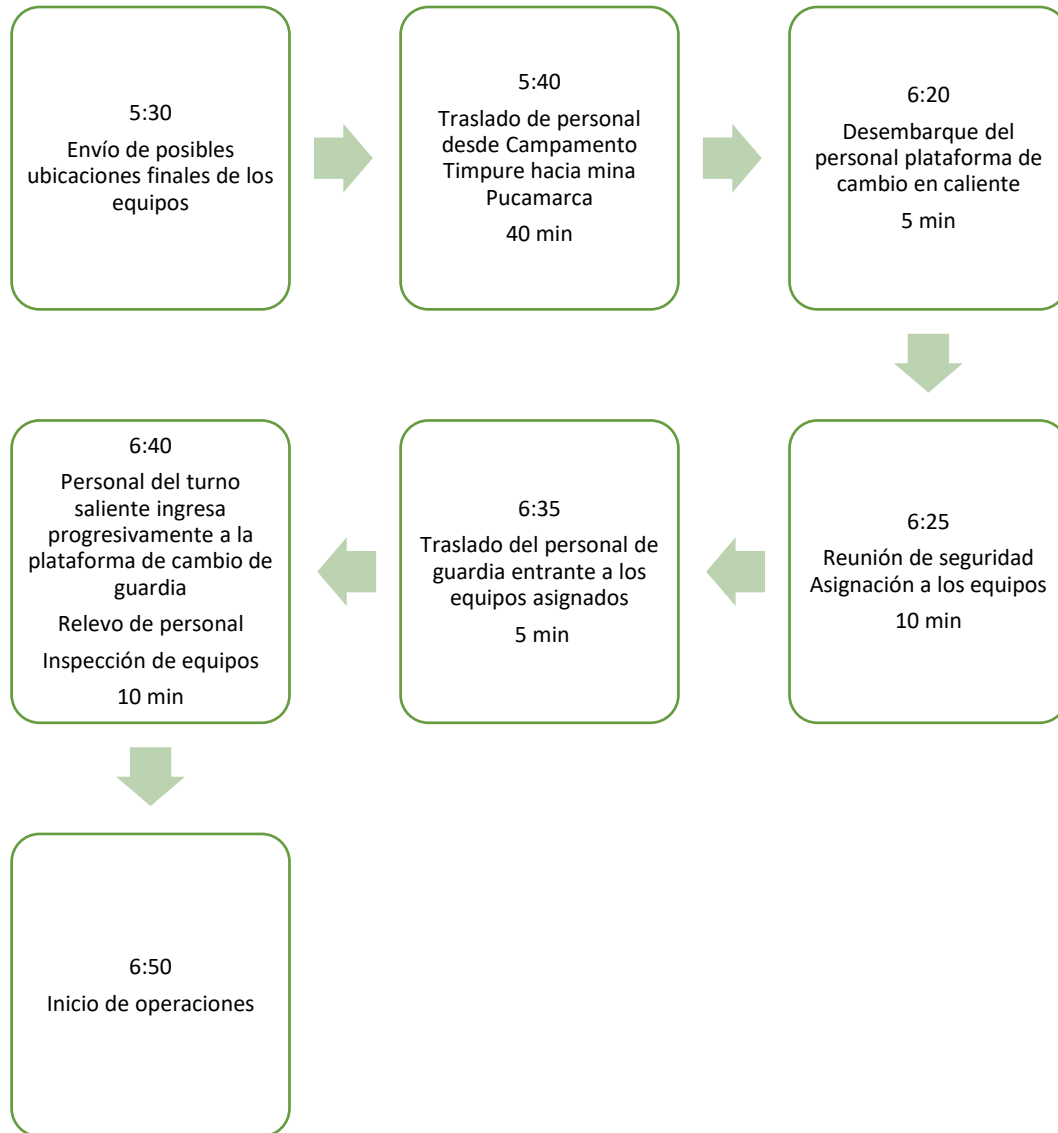
Figura 26. *Resumen Estadístico de Tiempos de Cambio Turno*



Fuente: Elaboración propia.

Se toma como referencia nuevamente a Y. Hinojosa (2022), debido a que esta demora también se encuentra relacionada con el relevo de personal. Con ello, se toma en consideración lo mencionado en la Figura 27, con el fin de reducir los tiempos de relevo.

Figura 27. *Línea de tiempo Cambio Turno*

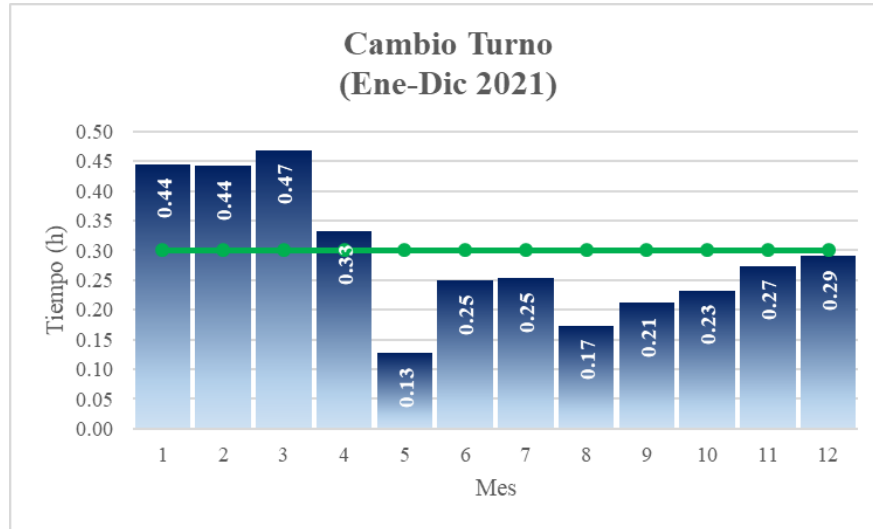


Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una prueba piloto en el mes de mayo, con la diferencia de que los relevos se realizaron en el parqueo principal y no en una plataforma a desnivel. Con lo cual se obtuvo

un tiempo promedio de 0.13 h, para el mes de prueba. Lo cual permitió reducir en 0.17 h lo cual representa una reducción en un 43% el tiempo de Cambio Turno, tal como se observa en la Figura 28.

Figura 28. *Refrigerio-Descanso promedio en el periodo Ene-Dic 2021*



Fuente: Elaboración propia.

Con este antecedente aplicado en mina Pucamarca, se establece un tiempo de 0.17 h como objetivo para los relevos de personal. Con ello se realiza el cálculo de horas incurridas en la demora Cambio Turno para un día, turno día y noche, en toda la flota de acarreo de camiones 777F, el cual se observa en la Tabla 17 y da como resultado un tiempo de 2.33 h.

Tabla 17. *Cálculo de tiempo Cambio Turno en un día para toda la flota de acarreo*

Periodo	Turnos (unid)	Camiones (unid)	Tiempo (h)
1 día	2	7	2.33

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el cálculo conjunto para un año, de aplicar la estrategia del cambio en caliente con plataformas a desnivel, se obtiene en la Tabla 18 un total de 851.67 h.

Tabla 18. *Cálculo de tiempo Cambio Turno en un año para toda la flota de acarreo*

Periodo	Camiones (unid)	Tiempo (h)
1 año	7	851.67

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para la demora Cambio de Guardia, se identifica que a la semana se tienen 3 días al 50% de personal. El cual podría anularse si el régimen de trabajo que es de 14x7 inicia las guardias en turno diurno para posteriormente rotar a turno noche en un solo bloque, tal como se detalla en la Figura 29. Con lo cual se contaría con el 100% de la guardia todos los días del año y por consiguiente la demora de Cambio de Guardia ya no existiría (tiempo de la demora propuesto igual a 0).

Figura 29. *Propuesta para nueva rotación de personal*

	lun	mar	mié	jue	vie	sáb	dom	lun	mar	mié	jue	vie	sáb	dom	lun	mar	mié	jue	vie	sáb	dom	lun	mar	mié	jue	vie	sáb	dom	lun	mar	mié
Guardias	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
A (100%)	D	D	D	D	P	P	P	P	P	P	P	N	N	N	N	N	N	N	D	D	D	D	D	D	D	P	P	P	P	P	
B (100%)	N	N	N	N	D	D	D	D	D	D	D	P	P	P	P	P	P	P	N	N	N	N	N	N	N	D	D	D	D	D	
C (100%)	P	P	P	P	N	N	N	N	N	N	N	D	D	D	D	D	D	D	P	P	P	P	P	P	P	N	D	D	N	N	N

Fuente: Elaboración propia.

Para lo cual se utilizó la distribución de tiempos acorde al modelo de tiempos ASARCO, el cual es empleado en mina Pucamarca para el año 2021, la cual se observa distribuida en la Tabla 19. Donde como tiempo nominal se emplea el periodo de análisis que fue de un año en horas, con un tiempo disponible de 55,811 h, de los cuales el total de tiempo operativo fue de 45,650 h, con un total de 8,430 h de demoras y 1,731 h de stand by, finalmente un total de 5,509 h en mantención.

Tabla 19. *Distribución de tiempos Modelo Asarco – Enero a Diciembre 2021*

Nominal				
61,320				
Disponible			Mantenimiento	
			PM	NP
55,811			5,509	
Operativo	Demora		Reserva	
	Programada	No Programada		
45,650	8,430		1,731	

Fuente: Elaboración propia.

Al aplicar las alternativas de mejora, la nueva distribución de tiempos se modifica debido a que las demoras presentadas en la Tabla 12 se reducirían. Para el caso de Refrigerio-Descanso de las 3,787.64 h se podría reducir a 1,815 h, en el caso de Cambio de Guardia dicha demora desaparecería y finalmente para Cambio Turno de 1,286.35 h a 851.67 h. En conjunto se reduciría un total de 4,777.31 h, las cuales pasarían al tiempo operativo.

Tabla 20. *Variación de las principales demoras operativas*

	Real (h)	Propuesta (h)	Δ (h)
Refrigerio-Descanso	3,787.64	1,815.00	1,972.64
Cambio de Guardia	2,369.98	-	2,369.98
Cambio Turno	1,286.35	851.67	434.69
Variación Total			4,777.31

Fuente: Elaboración propia.

Con lo cual en la Tabla 21 se observa la nueva distribución de tiempos acorde al modelo de tiempos ASARCO, posterior a la aplicación de estas nuevas estrategias en mina Pucamarca para un tiempo nominal de un año en horas, con un tiempo disponible de 55,811 h, de los cuales el total de tiempo operativo fue se incrementaría en 4,777.31 h, es decir se contaría con 50.427 h, con un total de 3,653 h de demoras y 1,731 h de stand by.

Tabla 21. *Distribución de tiempos Modelo Asarco – Enero a Diciembre 2021*

Nominal			
61,320			
Disponible			Mantenimiento
			PM
			NP
55,811			5,509
Operativo	Demora		Reserva
	Programada	No Programada	
50,427	3,653		1,731

Fuente: Elaboración propia.

Acorde a la nueva distribución de tiempos detallada en la Tabla 21, se realiza el cálculo de la eficiencia operacional, con lo que se obtiene lo siguiente una nueva eficiencia operacional del 93% para la flota de acarreo de camiones 777F.

$$\frac{\text{Eficiencia Operativa}}{\text{Operativa} + \text{Demora}} = \frac{\text{Operativo}}{\text{Operativo} + \text{Demora}}$$

$$\frac{\text{Eficiencia Operativa}}{\text{Operativa} + \text{Demora}} = \frac{50,427}{50,427 + 3,353}$$

$$\frac{\text{Eficiencia Operativa}}{\text{Operativa} + \text{Demora}} = 93\%$$

6. DISCUSIÓN

El primer objetivo de esta investigación consta en analizar cómo el diagnóstico de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo contribuye a la mejora en la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

Realizando el análisis Pareto, se determina que las principales demoras durante el periodo de enero a diciembre de 2021 fueron Refrigerio-Descanso (3,787.64 h), Cmabio de Guardia (2,369.98 h) y Cambio Turno (1.286.98 h), que va acorde a lo mencionado por Bonzi (2016) quien menciona que las detenciones programadas importantes son el Cambio de Turno y a la Colación, lo que equivale a las demoras de Cambio Turno y Refrigerio-Descanso.

Comparando con la investigación de Salgado y Núñez (2021) refieren que en la U.M Cuajone evidenciaron sus tiempos de demoras operativas, donde el de mayor cantidad fue el relevo del personal, aumentado su disponibilidad física en cuanto a la flota de palas y volquetes con 2.5% y para la utilización de palas fue de 1.6% y la de volquetes fue de 1.4%. De tal manera que con la investigación de Aguilar (2020) señala que sus demoras operativas fueron de 1.73 horas/guardia, evidenciando un incremento de costo de acarreo en el Scoop R1300G-1 que fue de 2.44 US\$/TM y para el Scoop R1300G-2 fue de 1.96 US\$/TM, asimismo obtuvieron una utilización efectiva baja del 70% y todo esto se debió al incremento de las demoras operativas.

En el segundo objetivo de esta presente investigación consiste en evaluar cómo el impacto de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo afecta a la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

Se evidenció para la flota de acarreo de camiones CAT 77F, de acuerdo a lo detallado en la Tabla 19 acumuló un total de horas operativas de 45,650 h, un tiempo total de demoras de 8,430 h, respecto al tiempo de reserva un total de 1,731 h y su tiempo de mantenimiento equivalente a 5,509 h. Con lo cual se obtuvo 84.41% de eficiencia operacional, 74.45% utilización y un 96.90% de uso de la disponibilidad para el periodo enero a diciembre 2021.

Como podemos observar para la fórmula de cálculo de la Eficiencia Operacional, la relación existente entre el tiempo de demoras y el valor de la razón obtenida para la Eficiencia Operacional es inversa, es decir a mayor cantidad de tiempo de Demoras se obtendrá un menor valor para la Eficiencia Operacional.

$$\frac{Eficiencia}{Operacional} = \frac{Operativo}{Operativo + Demora}$$

Al comparar con la investigación de Alkatiri et al. (2020) indican que las actividades mineras en la isla de Obi, con respecto a su tiempo efectivo de trabajo empleado disponible son de 12 horas por turno/día, sin embargo, la realidad de sus tiempos efectivos fue de 6.67 horas (56%) para excavadora y 6.59 horas (55%) para volquetes, adquiriendo una producción de carga de la excavadora Sany PC 365 fue de 9341.3 m³/día y para la herramienta de carga Komatsu HM 400 ADT fue de 32.826 m³/día.

Además, comparando con la investigación de Cárdenas (2022) refiere que, al emplear el KPI, obtuvieron que la disponibilidad mecánica de su equipo de carguío fue 75 y 76%, su porcentaje

de utilización fue de 82 y 85%, con respecto a los equipos de acarreo su disponibilidad mecánica fue de 70, 71, 72 y 70%; determinando que su costo de carguío optimizados en promedio fue de 41.75 US\$/Hr, aunque sus costos promedios de estos volquetes fueron de 41.875 US\$/Hr.

Como último objetivo de la presente investigación consta en determinar cómo la implementación de controles para reducir las demoras en los ciclos de carguío y acarreo contribuye a la mejora en la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.

Donde se tuvo en cuenta 3 alternativas de mejora, la primera fue el método del Diagrama de Pareto, evidenciando que la actividad que tiene mayor cantidad de demoras en este ciclo de carguío y acarreo es el Refrigerio-Descanso con un 3,787.6 h (43.75% del total de demoras). En el segundo método se empleó el Diagrama de Ishikawa, donde se evidenció en la figura 9 las causas y efectos que ocasionan la baja eficiencia operacional de los equipos de acarreo, así como en la figura 10, evidenciando las causas y efectos de este incremento de las principales demoras de acarreo.

Como último método se empleó la aplicación de alternativas de mejora a cada una de las demoras representativas. Para el caso de Refrigerio-Descanso se empleó con referencia a Y. Hinojosa para poder plantear la implementación de zonas de relevo de personal en parqueos a desnivel, con lo cual la demora se reduciría en un 52%, además de la implementación de un nuevo comedor y los relevos en bloques con la finalidad de asegurar el acarreo de mineral hacia el pad de lixiviación. En el caso de Cambio de Guardia se propone una nueva rotación de personal sin modificar el régimen de trabajo de 14x7 con lo cual se eliminaría esta demora de la distribución de tiempos. Finalmente, para Cambio Turno al igual que la primera demora, se toma como referencia a Y. Hinojosa debido a que esta demora tiene involucrada el relevo

de personal, con lo cual la demora se reduciría en 34%. Como resultado de la aplicación de estas nuevas alternativas de mejora, se obtendría una reducción de 4,777.3 h en las demoras de acarreo lo cual representa un aumento del 9% en la eficiencia operacional.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

En conclusión, diagnosticar las principales demoras operativas en los ciclos de acarreo fue esencial para la investigación, ya que permitió identificar las demoras más significativas en la Unidad Minera Pucamarca, evidenciando que en todo el periodo 2021 fue la demora Refrigerio-Descanso fue la más representativa con 3,787.6 h.

En cuanto al impacto generado por las principales demoras operativas en los ciclos de acarreo, de acuerdo al KPI se evidenció que para la flota de acarreo (CA-1, CA-2, CA-3, CA-4, CA5, CA-6 y CA-7) se calcularon su distribución de tiempos, donde se obtuvo una eficiencia operacional de 84.41%. El cálculo de la utilización nos arroja un valor de 74.41% y su uso de disponibilidad fue de 96.90%.

Con respecto a la implementación de alternativas de mejora del uso de la disponibilidad en la operación minera, se tuvieron en cuenta 3 alternativas como el diagrama de Pareto donde se observó la actividad con mayor cantidad de demoras operativas, así como el al diagrama de Ishikawa evidenciando las causas y efectos para la baja disponibilidad de equipos de carguío y acarreo, y para el incremento de las principales demoras de carguío y acarreo. Y finalmente se plantean alternativas de mejora con el objetivo de incrementar la eficiencia operacional de los equipos de acarreo en la Unidad Minera Pucamarca. Con lo cual se calcula que el impacto de reducir dichas demoras es positivo, aportando con un incremento de la eficiencia operacional en un 9%.

7.2. Recomendaciones

Se recomienda a la Unidad Minera Pucamarca que realicen de manera constante el diagnóstico de las principales demoras operativas para permitir identificar que actividades se encuentran con mayores cantidades de demoras y de esta manera se pueda aplicar las alternativas de mejoras.

Se recomienda a los supervisores que tengan en cuenta los cálculos del KPI para que puedan identificar sus diversos tiempos y su porcentaje de utilización de sus equipos, con la finalidad de que se pueda determinar el impacto generado por sus principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo.

Finalmente, se recomienda realizar el seguimiento y control a las nuevas alternativas de mejora implementadas con el propósito de reducir sus principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo y así mejorar eficiencia operacional de equipos de la Unidad Minera Pucamarca.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar, E. (2020). Reducción del costo de acarreo y transporte de mineral mediante la aplicación de indicadores de desempeño KPI's en la U.M. Sumaq Rumi [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6665/T010_73899484_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Alamas, W. y Lizana, D. (2021). Optimización del ciclo de minado para la reducción de los costos en la Cantera RB, Ferreñafe [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/65911/Alamas_MWA-Lizana_EDM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Alkatiri, H., Abbas, S. y Haya, S. (2020). Synchronization conveyance and loading equipment for production target in mining activities on Obi island. International Conference on Science and Technology 2019, 1569 (1), 1-7. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1569/4/042076/pdf>

Arias, J. y Covinos, M. (2019). Diseño y metodología de la investigación (1°ed). Enfoques Consulting EIRL. <https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2260>

Asih, I., Purba, H. y Sitorus, T. (2020). Key Performance Indicators: A systematic literature review. Journal of Strategy and Performance Management, 8 (4), 142-155. https://www.researchgate.net/publication/344493860_KEY_PERFORMANCE_INDICATORS_A_SYSTEMATIC_LITERATURE_REVIEW

Azañero, L. y Guerrero, L. (2020). Implementación del sistema ControlSense para mejorar la productividad en el proceso de carguío y acarreo en Minera Gold Fields, Cajamarca, 2020 [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/28149/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Basílio, G. y Campos, G. (2021). El uso del diagrama de Ishikawa para identificar las causas de contaminación en la línea de producción de matanza de ganado. La Técnica: Revista de las Agrociencias, 1 (26), 13-21. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8232842.pdf>

Bonzi, J. (2016). Propuestas de mejora de la utilización efectiva en base a disponibilidad de la flota de carguío y transporte en minera Los Pelambres. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/139829>

Burgasí, D., Cobo, D., Pérez, K., Pilacuan, R. y Rocha, M. (2021). El diagrama de Ishikawa como herramienta de calidad en la educación: Una revisión de los últimos 7 años. Revista Electrónica TAMBARA, 14 (84), 1212-1230. https://tambara.org/wp-content/uploads/2021/04/DIAGRAMA-ISHIKAWA_FINAL-PDF.pdf

Calua, F. (2019). Propuesta de minimización de tiempos improductivos para una mayor producción en carguío y acarreo en CIA. Minera Coimolache S.A. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3114/TESIS%20FREDDY.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cárdenas, C. (2022). Optimización de la productividad de los equipos de carguío y acarreo en la CÍA. Cárdenas S.R.L. mediante los indicadores clave de desempeño-2019 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Institucional UNASAM. https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/5075/T033_46824615_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chavez, J. (2023). Estudio de las demoras operativas de la flota de acarreo en minas a tajo abierto para incrementar la productividad de la operación. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/26920>

Chura, M. (2018). Reducción de demoras operativas por cambio de turno con la implementación de módulo de cambio de guardia en la Unidad Minera Cuajone [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio Institucional UNAM. <https://repositorio.unam.edu.pe/items/52adc071-046b-4cac-b75f-d73a5d665174>

Coro, P. y Cotrina, S. (2021). Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo en la Empresa W&J Minería y Construcción S.A.C. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29859/Coro%20Cerqu%c3%adn%20Percy%20Elvis%20-%20Cotrina%20Cieza%20Segundo%20Roger.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz, S. y Medina, A. (2020). Reducción de tiempos improductivos para mejorar la productividad de los procesos de carguío y acarreo tajo Pampa Verde, Minera la Zanja [Tesis

de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/73912/D%C3%ADaz_RSS-Medina_EAN-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Germanova, D. y Dimcheva, I. (2020). Analysis of defects and their impact on the production losses using Pareto diagrams. E3S Web of Conferences, 207 (1), 1-10. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/67/e3sconf_fpepm2020_03007.pdf

Gusman, M., Asri, Y. y Prengki, I. (2019). Optimization of digging and loading equipment and hauling for overburden production with quality capacity methods and queing methods in east pit, august 2017 period PT. Artamulia tata pratama, site tanjung belit, bungo, jambi. International Conference on Education, Science and Technology 2019, 1387 (1), 1-7. https://www.researchgate.net/publication/337711736_Optimization_of_Digging_and>Loading_Equipment_and_Hauling_for_Overburden_Production_with_Quality_Capacity_Methods_and_Queing_Methods_in_East_Pit_August_2017_Period_Pt_Artamulia_Tata_Pratama_Site_Tanju

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación (6° ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Hinojosa, Y. (2022). Incremento de la productividad de flota de camiones mineros mediante implementación de bahías de cambio en caliente en la Mina Constancia – Cusco. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/6744>

Knights, P. y Reuter, M. (2023). Economic benefits of load volume scanning of underground mining trucks. CIM JOURNAL, 1 (1), 1-7.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19236026.2023.2186642>

Kurniawan, S., Azaria, A., Alzena, T. y Dwicachyo, H. (2019). The measurement and improvement of effectiveness in K-440 haul truck using overall equipment effectiveness in Coal Mining Company. Computer, Mathematics and Engineering Applications, 10(2), 43-48.
<https://journal.binus.ac.id/index.php/comtech/article/download/5692/3604/25773>

León, I., Espín, L. y Gallegos, S. (2021). Método general de solución de problemas y diagrama de Ishikawa en el análisis de los efectos de los feminicidios en el entorno familiar. Revista Conrado, 17 (79), 252-260. <http://scielo.sld.cu/pdf/rc/v17n79/1990-8644-rc-17-79-252.pdf>

Martins, J. (2022, 16 de agosto). Qué es un KPI, para qué sirve y cómo utilizarlo en tu proyecto. Asana. <https://asana.com/es/resources/key-performance-indicator-kpi>

Matos, D. (2020). Reducción de costos unitarios de carguío y acarreo mediante programación de equipos-Mina-Corihuarmi [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP.
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7129/T010_70242150_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Moreno, E. (2021, 21 de marzo). La población en una investigación. <https://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2013/08/que-es-la-poblacion.html>

Nday, I. y Thomas, H. (2019). Optimization of the cycle time to increase productivity at Ruashi Mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 119 (7), 631-638.
http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532019000700007

Orellana, F., Morales, N. y Jélvez, E. (2019). Modelo integrado de simulación y optimización para planes mineros de corto plazo en minería a cielo abierto. *Journal of Mining Engineering and Research*, 2 (2), 150-158.
https://www.researchgate.net/publication/338664201_Modelo_integrado_de_simulacion_y_optimizacion_para_planes_mineros_de_corto_plazo_en_mineria_a_cielo_abierto

Osses, I., Nehring, M. y Ullah, G. (2021). Optimising Productivity and safety of the open pit loading and haulage system with a surge loader. *Mining* 2021, 1 (2), 167-179.
<https://www.mdpi.com/2673-6489/1/2/11>

Pareja, I. (2021). Análisis y diagnóstico de la planificación y control de materiales en una empresa ubicada en Chimbote [Tesis de pregrado, Pontífica Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21574/PAREJA_ROJAS_ISRAEL_ANALISIS_DIAGNOSTICO_PLANIFICACION.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ramos, M. y Salomon, E. (2021). Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10193/1/IV_FIN_110_TE_Ramos_Salomon_2021.pdf

Rojas, D. y Muñoz, A. (2021). Influencia de las demoras efectivas y mecánicas en los KPIS de carguío del equipo CAT 374FL, en una mina a tajo abierto en Cajamarca [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30015/Mu%c3%bl%20Delgado%20Alex%20Ivan_Rojas%20Chiquez%20Dasting%20Vicente.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Salama, A. (2019). Prediction of haul units' requirements for the open pit mines operating towards closure. Tanzania Journal of Engineering and Technology, 38 (2), 217-229. <https://journals.udsm.ac.tz/index.php/tjet/article/viewFile/3115/3066>

Salazar, P. (2022). Incremento de la productividad en carguío y acarreo mediante la disminución de tiempos improductivos en la construcción del pad de lixiviación Ciénaga norte en Cia. Minera Coimolache S.A. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4705>

Salgado, L. y Núñez, D. (2021). Mejora de la gestión de la productividad de la flota de carguío y acarreo U.M Cuajone, mediante la aplicación de la metodología Six Sigma para disminuir las demoras operativas en el relevo del personal [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/659078/Salgado_ML.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Sierra, J. (2021, 06 de mayo). Sobre el indicador disponibilidad en mantenimiento. LinkedIn. <https://es.linkedin.com/pulse/sobre-el-indicador-disponibilidad-en-mantenimiento-sierra-porta>

Silva, D. y Navarro, V. (2021). Influence of mine road grade and rolling resistance on haulage productivity and costs. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 6 (2), 14-22.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522021000200002

Villar, L. (2020). Uso de sistemas expertos en el ciclo de carguío y acarreo y su influencia en el proceso de mejora continua y gestión de costos operativos [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN.
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23753/Villar%20Zamora%20Lester%20Juan%20De%20Dios.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

9. ANEXOS

9.1. Anexo 1. Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES		METODOLOGÍA		
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general			Población:	Tipo:	Técnicas:
¿De qué manera la reducción de demoras en los ciclos de carguío y acarreo en la mejora de la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca?	Evaluar cómo la reducción de las demoras en los ciclos de carguío y acarreo impacta la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca	La reducción de demoras en los ciclos de carguío y acarreo mejora significativamente la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.			Todos los ciclos en cuanto al carguío y acarreo para su flota de equipos de la Unidad Minera Pucamarca	Cuantitativo	Análisis documental Observación
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Reducción de las Demoras en los Ciclos de Carguío y Acarreo	Mejora de la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca	Muestra:	Diseño:	Instrumentos:
¿De qué manera el diagnóstico de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo mejora de la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca, 2021?	Analizar cómo el diagnóstico de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo contribuye a la mejora en la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.	El diagnóstico efectivo de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo permite identificar áreas críticas de mejora, lo que conduce a una optimización de la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.			Ciclos en cuanto al carguío y acarreo del año 2021, para su flota de equipos de la Unidad Minera Pucamarca	No experimental	Guía de análisis documental Guía de observación
¿De qué manera el impacto generado por las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo mejora la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca, 2021?	Evaluar cómo el impacto de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo afecta a la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.	El impacto negativo de las principales demoras operativas en los ciclos de carguío y acarreo reduce la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.				Aplicada	

¿De qué manera la implementación de controles para reducir las demoras en los ciclos de carguío y acarreo mejora la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca, 2021?	Determinar cómo la implementación de controles para reducir las demoras en los ciclos de carguío y acarreo contribuye a la mejora en la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.	La implementación de controles diseñados para reducir las demoras en los ciclos de carguío y acarreo incrementa la eficiencia operacional de los equipos en la mina Pucamarca.
---	---	--

9.2. Anexo 2. Guía de observación

[illegible]

Fuente: Adaptado de Salazar, 2022.