

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



TESIS

**EVALUACIÓN ECONÓMICA EN EL USO DE VOLQUETES DE 30 METROS
CÚBICOS DE CAPACIDAD PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAL LIXIVIADO
EN LA UNIDAD MINERA EL TORO – HUAMACHUCO - LA LIBERTAD**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Vásquez Rojas, Frank Aderlin

Asesor:

M.Cs. Arapa Vilca Victor Ausberto

Cajamarca – Perú

2025



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

— FACULTAD DE INGENIERÍA —

1. Investigador : VÁSQUEZ ROJAS, FRANK ADERLIN

DNI : 70208631

Escuela Profesional : INGENIERÍA DE MINAS

2. Asesor : M. CS. ING. ARAPA VILCA VICTOR AUSBERTO

Facultad : INGENIERÍA

3. Grado académico o título profesional

Bachiller Título profesional Segunda especialidad

Maestro Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional

5. Título de Trabajo de Investigación:

**EVALUACIÓN ECONÓMICA EN EL USO DE VOLQUETES DE 30 METROS
CÚBICOS DE CAPACIDAD PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAL LIXIVIADO
EN LA UNIDAD MINERA EL TORO – HUAMACHUCO - LA LIBERTAD**

6. Fecha de evaluación: 03 de noviembre del 2025

7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 12%

9. Código Documento: trn:oid:::3117:522595007

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 03/11/2025

FIRMA DEL ASESOR
M. CS. ING. ARAPA VILCA VICTOR AUSBERTO
DNI: 29552145



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 03/11/2025 23:46:01-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO

: EVALUACIÓN ECONÓMICA EN EL USO DE VOLQUETES DE 30 METROS CÚBICOS DE CAPACIDAD PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAL LIXIVIADO EN LA UNIDAD MINERA EL TORO - HUAMACHUCO - LA LIBERTAD

ASESOR

: M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0045-2026-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 12 de enero de 2026, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **diecisésis días del mes de enero de 2026**, siendo las ocho horas (08:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Secretario : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **EVALUACIÓN ECONÓMICA EN EL USO DE VOLQUETES DE 30 METROS CÚBICOS DE CAPACIDAD PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAL LIXIVIADO EN LA UNIDAD MINERA EL TORO - HUAMACHUCO - LA LIBERTAD**, presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas **FRANK ADERLIN VÁSQUEZ ROJAS**, asesorado por el M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 03.00 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11.00 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 14.00 PTS

CATORCE (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de CATORCE.
Acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 09.00 am. horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario

M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios, fuente inagotable de sabiduría y fortaleza, por guiarme en este camino académico y darme la tenacidad necesaria para culminar esta etapa. A mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, y en especial a la Escuela de Ingeniería de Minas por formarme como profesional, brindándome conocimientos y valores que llevaré conmigo siempre en todo momento.

Mi gratitud a los docentes que, con perseverancia y compromiso, compartieron su experiencia y confiaron en mi potencial. A mi asesor, M.Cs. Arapa Vilca Víctor, agradezco su guía constante, sus consejos oportunos y el apoyo brindado en cada etapa de este proceso.

Finalmente, a todas las personas que me acompañaron en la investigación y desarrollo de esta tesis, les debo cada palabra de aliento, consejo y gesto de apoyo. Este logro no sería posible sin ustedes.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo mi amor a mis padres, Silvia y Roger, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Su amor, sacrificio y enseñanza han moldeado mi carácter y me han guiado hacia el éxito donde hoy me encuentro. A toda mi familia Rojas, gracias por el apoyo incondicional y por inculcarme los valores que me han permitido crecer tanto personal como profesionalmente. Este logro es tan suyo como mío, y les dedico cada página de este trabajo.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS	3
2.1.1 Internacionales.....	3
2.1.2 Nacionales	4
2.1.3 Locales.....	5
2.2 BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1 Movimiento de tierras	6
2.2.2 Transporte de material en la minería superficial	7
2.2.2.1 Ciclo de acarreo.....	8
2.2.2.2 Costo de alquiler para un equipo de acarreo	9
2.2.2.3 Criterios en la selección de un equipo.....	10
2.2.2.4 Características técnicas de equipos de acarreo.....	10
2.2.4.1 Dumper.....	11
2.2.4.2 Semirremolques basculantes	11
2.2.4.3 Dumperes extraviales (Of Road).....	12
2.2.5 Factores que condicionan en la elección de un equipo de acarreo	13
2.2.5.1 Rendimiento	13
2.2.5.2 Horas Disponibles (HD).....	14
2.2.5.3 Dimensionamiento de flota de acarreo.....	14
2.2.6 Factores que afectan la performance de los camiones	14
2.2.7 Producción.....	15
2.2.8 Evaluación económica en minería superficial.....	16

	Pág
2.2.8.1 Costo de transporte por camiones	16
2.2.8.2 Costo total de producción en minas a cielo abierto.....	16
2.2.8.3 Costo unitario	17
2.2.8.4 Análisis de costo – volumen – beneficio (CVB).....	17
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	18

CAPÍTULO III **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	20
3.2 ACCESIBILIDAD	21
3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	22
3.3.1 Tipo, nivel, diseño y método de investigación.....	22
3.3.2 Población de estudio.....	22
3.3.3 Muestra.....	22
3.3.4 Unidad de análisis	23
3.3.5 Definición de variables.....	23
3.3.5.1 Variable independiente	23
3.3.5.2 Variables dependientes.....	23
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	24
3.4.1 Técnicas	24
3.4.2 Materiales y equipos.....	24
3.5 PROCEDIMIENTOS.....	24
3.5.1 Etapa preliminar de gabinete	24
3.5.2 Etapa de campo	25
3.5.3 Etapa final de gabinete	25
3.6 PROCESO PRODUCTIVO DE LA UNIDAD MINERA EL TORO.....	25
3.6.1 Descripción de la zona de trabajo.....	26
3.6.2 Rutas de acarreo	29
3.7 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.....	31
3.7.1 Equipo de carguío.....	31
3.7.2 Equipos de acarreo	33
3.8 PLAN DE EJECUCIÓN EN LA ZONA DE LIXIVIACIÓN	34
3.8.1 Carguío de material lixiviado	36

	Pág	
3.8.2	Acarreo y descarga de material lixiviado	37
3.8.3	Liberación topográfica y calidad.....	37
3.9	FACTORES QUE INFLUYEN EL CICLO DE ACARREO.....	38
3.9.1	Mantenimiento de vías	38
3.9.2	Abastecimiento de combustible en horas operativas.....	40
3.9.3	Congestión en la zona de descarga.....	40
3.9.4	Mantenimiento mecánico de la excavadora	41
3.9.5	Velocidad de recorrido de volquetes	41
3.9.6	Polvo.....	42
3.10	ESTIMACIÓN DE TIEMPO EN EL ACARREO	43
3.10.1	Parámetros de operación en el acarreo	43
3.10.2	Velocidad de acarreo	43
3.10.3	Distancia de acarreo	45
3.10.4	Análisis de tiempos	45
3.11	RENDIMIENTOS.....	47
3.12	DIMENSIONAMIENTO DE FLOTA DE ACARREO	47
3.13	COSTO UNITARIO (C.U).....	48
3.14	TIEMPO OPERATIVO DURANTE UNA GUARDIA.....	49
3.14.1	Horas totales	49
3.14.2	Horas mantenimiento (HM)	50
3.14.3	Horas disponibles (HD).....	53
3.14.4	Horas operativas (HR).....	54

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1	EVALUACIÓN DE COSTO - VOLUMEN - BENEFICIO (CVB)	55
4.2	CICLOS Y RENDIMIENTOS	56
4.3	DIMENSIONAMIENTO Y COSTO UNITARIO	58

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES	60
5.2	RECOMENDACIONES.....	61

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
----------------------------------------	-----------

ANEXOS.....	65
--------------------	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Costo de transporte por camiones en porcentajes	16
Tabla 2. Costo total de producción en cielo abierto en porcentajes.....	17
Tabla 3. Puntos GPS de la zona de estudio.....	20
Tabla 4. Accesibilidad por vía costera a Trujillo	21
Tabla 5. Accesibilidad a vía serrana a Cajabamba	21
Tabla 6. Operacionalización de variables	23
Tabla 7. Técnica de recolección de datos	24
Tabla 8. Características de la excavadora Volvo EC750E	32
Tabla 9. Aspectos generales de volquetes de acarreo	33
Tabla 10. Características de volquetes Volvo FMX 8X4R y FMX 6X4T	34
Tabla 11. Demoras operativas de los volquetes.....	39
Tabla 12. Demoras mecánicas de los volquetes.....	40
Tabla 13. Velocidad promedio a través del taquímetro	44
Tabla 14. Velocidades mínimas y máximas en ruta	45
Tabla 15. Distancia de la ruta en la zona de lixiviación	45
Tabla 16. Tiempo total del ciclo	46
Tabla 17. Rendimiento de los equipos de acarreo	47
Tabla 18. Flota de acarreo óptima.....	47
Tabla 19. Tarifa de maquinaria por Summa Gold	48
Tabla 20. Estimación del costo unitario.....	48
Tabla 21. Determinación máxima de tarifa para el volquete de 30 m ³	49
Tabla 22. Tiempos de mantenimiento programado (Hp)	50
Tabla 23. Tiempo de mantenimiento no programado (Hnp)	51
Tabla 24. Registro de demoras (D)	53
Tabla 25. Tiempo de Stand By acumulativo.....	53
Tabla 26. Horas operativas durante una guardia (HR)	54
Tabla 27. Evaluación económica de los volquetes de 24 y 30 m ³ en una guardia.....	55
Tabla 28. Tiempo por ciclo de acarreo	57
Tabla 29. Rendimiento horario	57
Tabla 30. Dimensionamiento de volquetes en una hora de operación.....	58
Tabla 31. Costo por tonelada movida en una hora de operación	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Operaciones en movimiento de tierras Fuente: Chávez, (2023).....	7
Figura 2. Equipos de acarreo en minería a cielo abierto Fuente: Chávez, (2023).	10
Figura 3. Dumper de 4 ejes, ruedas gemelas, PMA 26 toneladas.....	11
Figura 4. Volquete con tractor de 2 ejes y semirremolque de 3 ejes	12
Figura 5. Dumper extravial de chasis rígido de 26 m ³ y carga útil de 40 toneladas	13
Figura 6. Diagrama del proceso operacional de la mina El Toro	26
Figura 7. Rutas principales en la zona de lixiviado	27
Figura 8. Zona crítica para el traslado de material lixiviado	28
Figura 9. Nivel 3490 en el pad estático.....	28
Figura 10. Plataforma de carguío en la Celda C_601	29
Figura 11. Recorrido de los volquetes en la zona de lixiviado	30
Figura 12. Excavadora Volvo EC750E.....	31
Figura 13. Volquetes de acarreo de 24 y 30 metros cúbicos	33
Figura 14. Celdas de remoción con material lixiviado en el pad dinámico	35
Figura 15. Zonas y capacidades de descarga en el pad estático.....	35
Figura 16. Celda C_601 del pad dinámico N. ^o 08	36
Figura 17. Descarga del nivel 3490 en el pad estático.....	37
Figura 18. Diagrama de Pareto con las demoras operativas	38
Figura 19. Diagrama de Pareto con las demoras mecánicas	39
Figura 20. Velocidad promedio de volquetes	41
Figura 21. Registro de polvo en las vías del pad	42
Figura 22. Equipos de acarreo de 24 y 30 metros cúbicos en el carguío.....	46
Figura 23. Porcentajes de tiempos con mantenimiento programado	51
Figura 24. Porcentajes de tiempos con mantenimiento no programado	52
Figura 25. Resumen porcentual de horas de mantenimiento (HM)	52
Figura 26. Distribución de horas totales (HT)	54
Figura 27. Comparación de toneladas movidas vs su costo operativo en una hora trabajada .	59

LISTA DE ABREVIATURAS

CAT	:	Caterpillar
CVB	:	Costo-Volumen-Beneficio
D	:	Demoras
DME	:	Depósito de Material Estéril
GPS	:	Sistema de Posicionamiento Global
HD	:	Horas Disponibles
HM	:	Horas malogrado
Hp	:	Horas mantenimiento programado
Hnp	:	Horas de mantenimiento no programado
HP	:	Caballos fuerza
HR	:	Horas operativas
HT	:	Horas totales
h	:	Horas
Km	:	Kilómetros
Km/Hr	:	Kilómetros por hora
MF	:	Match Factor (Factor de acoplamiento)
m ²	:	Metros cuadrados
m ³	:	Metros cúbicos
m.s.n.m	:	Metros sobre el nivel del mar
Min	:	Minutos
MIS	:	Sistema de Integración Minera
PAD	:	Pilas de Lixiviación
PE	:	Peso a Nivel
PMA	:	Peso Máximo Autorizado
RP	:	Resistencia a la pendiente
Rpm	:	Revoluciones por minuto
RR	:	Resistencia de rodamiento
S. A	:	Sociedad Anónima
S.A. A	:	Sociedad Anónima Abierta
SB	:	Stand By
SENHAMI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
UEA	:	Unidad Económica Administrativa

USD	:	Dólares
UTM	:	Universal Transversal Mercator
WGS	:	Sistema Geodésico Mundial
Ud	:	Unidades
\$/h	:	Dólares por hora
\$/tn	:	Dólares por tonelada
V_p	:	Velocidad promedio
°C	:	Grados Celsius
σ	:	Prueba de Normalidad
P	:	Probabilidad
P80	:	Tamaño de partícula

RESUMEN

La Unidad minera el Toro enfrenta a un desafío crucial en la inversión para el acarreo ya que alquila volquetes con capacidad de 24 metros cúbicos (m^3) para toda su operación, por lo que surge la necesidad de implementar nueva flota minera con equipos de 30 m^3 en la zona de lixiviado generando el mismo transporte de material a menor o igual costo operativo. El principal objetivo es evaluar económicamente el uso de volquetes de 30 m^3 analizando principalmente el ciclo de los volquetes respecto a su velocidad y distancia. Para esto se empleó una metodología descriptiva – explicativa, con un diseño transversal no experimental y un enfoque cuantitativo. El registro de la información fue tomado desde el 14/06/2024 hasta el 28/06/2024, considerándose día y noche. Luego se realizó un análisis estadístico con un 95 % de confiabilidad evidenciando una tendencia normal de los datos y favoreciendo la credibilidad del trabajo. Basado en las pruebas se lograron obtener un ciclo de 25.28 min para el volquete de 30 m^3 siendo más lento pero con mayor rendimiento de 122.48 Tn/Hr, respecto al dimensionamiento para la excavadora Volvo EC750E se obtuvo 7 volquetes de 30 m^3 que al evaluarlo con una tarifa de 55 USD/Hr se determinó un costo unitario de 0.45 USD/Tn siendo económicamente rentable para la operación; ante una proyección de 10.01 horas operativas por turno y durante los 15 días de prueba respecto a plan de ejecución por el área de planeamiento se logró un ahorro de 19,520 USD.

Palabras Clave: Flota minera, mineral lixiviado, costo operativo, dimensionamiento, costo beneficio.

ABSTRACT

The El Toro Mining Unit faces a crucial investment challenge for hauling since it rents dump trucks with a capacity of 24 cubic meters (m^3) for its entire operation. Therefore, it is necessary to implement a new mining fleet with 30 m^3 equipment in the leaching area, generating the same material transport at a lower or equal operating cost. The main objective is to economically evaluate the use of 30 m^3 dump trucks, primarily analyzing the dump truck cycle with respect to speed and distance. For this purpose, a descriptive-explanatory methodology was used, with a non-experimental cross-sectional design and a quantitative approach. Data were recorded from June 14, 2024, to June 28, 2024, considering day and night conditions. A statistical analysis was then performed with a 95 % reliability rating, demonstrating a normal data trend and enhancing the credibility of the work. Based on the tests, a cycle of 25.28 min was obtained for the 30 m^3 dump truck, being slower but with a higher performance of 122.48 Tn/Hr, regarding the sizing for the Volvo EC750E excavator, 7 dump trucks of 30 m^3 were obtained, which when evaluated with a rate of 55 USD/Hr, a unit cost of 0.45 USD/Tn was determined, being economically profitable for the operation; with a projection of 10.01 operating hours per shift and during the 15 days of testing with respect to the execution plan by the planning area, a saving of 19,520 USD was achieved.

Keywords: Mining fleet, leached mineral, operating cost, sizing, cost benefit.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el costo – beneficio en la minería superficial radica en encontrar un equilibrio entre la inversión necesaria para la extracción y procesamiento del mineral con los beneficios económicos obtenidos, por lo que las compañías buscan la mejor eficiencia en sus operaciones mejorando de forma continua sus actividades llevando a cabo un cumpliendo estricto en sus estándares y normas aplicables a calidad, productividad y un plan de responsabilidad social.

Para la viabilidad y estandarización de la vida útil de los proyectos en minería es importante la optimización de sus actividades, una de las más importantes es el carguío y acarreo que mantienen condiciones variables; ya sea un factor el ciclo o tiempo de movimiento de material, por lo que el correcto dimensionamiento de flota es esencial para lograr buenos resultados.

La unidad minera El Toro se propone cumplir la producción diaria a menor costo posible, influyendo en el número de unidades de la flota de volquetes de 24 m³ en la zona de lixiviado, ya que el costo de alquiler está sumamente alto hasta el momento, por lo tanto, es necesario llevar a cabo un análisis estadístico – descriptivo para el reemplazo con volquetes de 30 m³ para el acarreo.

Ante esta situación se formula el siguiente problema de investigación: ¿El uso de volquetes de 30 m³ de capacidad es económicamente rentable para el transporte de material lixiviado en la unidad minera El Toro – Huamachuco – La Libertad?, cuya hipótesis es: El uso de volquetes de 30 m³ permitirá el transporte necesario de material lixiviado a menor o igual costo, ajustándose a los requisitos por el área de planeamiento.

La presente investigación ante este problema tiene como justificación en que toda mina es necesario analizar los costos asociados al transporte de material, ya que es posible identificar oportunidades de mejora para optimizar y reducir los gastos cumpliendo con las necesidades propuestas por la empresa. La evaluación de volquetes de 30 m³ en la zona de lixiviado permitirá la viabilidad financiera y operativa con el objetivo de optimizar los costos de transporte, mejorar la eficiencia de la operación minera y garantizar una producción sostenible y rentable a largo plazo.

Por lo tanto, el objetivo general es: Evaluar económicoamente el uso de volquetes de 30 m³ para el transporte de material lixiviado en la unidad minera El Toro – Huamachuco – La Libertad, y los objetivos específicos son: Calcular ciclos y rendimientos respecto a la velocidad y distancia, determinar el dimensionamiento de volquetes teniendo en cuenta el equipo de carguío e identificar el costo unitario óptimo en relación con la tarifa planteada por la empresa.

El proyecto de investigación se desarrolló en cinco capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el capítulo I se proporciona la introducción que aborda el planteamiento y formulación del problema en conjunto con la hipótesis, justificación y objetivos. En el capítulo II se presenta el marco teórico conformado por los antecedentes y bases teóricas de distintivos autores; a la vez la definición de términos básicos más comunes que resaltan durante el desarrollo del tema. El capítulo III se describe los materiales y métodos detallando la accesibilidad, ubicación, metodología, técnicas e instrumentos para la recolección de datos y procedimientos. En el capítulo IV se muestra el análisis y discusión de los resultados, manifestando la veracidad de la hipótesis. En el capítulo V se expone las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 Internacionales

Rojas (2020), en la tesis denominada “Plan de incremento de productividad de camiones de extracción y palas eléctricas en operación minera” para mejorar el proceso de carguío y transporte buscó optimizar el “factor de carga” de los camiones de extracción a través del Sistema Argus quien monitorea los equipos durante el desarrollo de dicha actividad. Se llegó a determinar un aumento del factor de carga y rendimiento de las palas eléctricas de 3.6 %, por lo tanto, disminuyó en 1.69 el número de camiones que se requieren para cumplir el plan de producción, identificando dentro de las operaciones los tiempos que se pueden recuperar o reducir durante el mantenimiento de los equipos para su eficiencia operativa.

Muñoz (2024), en la tesis nombrada “Modelo de planificación corto plazo para optimizar flota de carguío y transporte” buscó estandarizar el análisis y control del carguío y acarreo, identificando los factores para medir y determinar las posibles causas donde afecta directamente al rendimientos de los equipos durante la operación, se concluyó que el rendimiento durante el carguío depende del tiempo recopilado en las distintas fases ya sea de aculatamiento y el periodo en que la pala permanece inactiva; del cual según el análisis de costo, se ha obtenido que el costo de la flota de cargadores es de 1.32 USD/Tn, que comparado con los 0.25 USD/Tn de la flota P&H 4100 XPC y 0.40 USD/Tn de la flota P&H 2800 XPB, es más alto por mucha diferencia, además, la flota de palas por sí sola satisfacen el requerimiento de carga de los camiones, lo que concluye que la flota de cargadores se debe utilizar lo menos posible.

2.1.2 Nacionales

Arteaga (2020), en la tesis de titulación nombrada “Evaluación técnica económica en el sistema de transporte de talco para la reducción de costo en la UEA Jesús Poderoso N° 08 de compañía minera Agregados Calácreos S.A” tuvo por objetivo determinar los costos unitarios promedio de mineral el cual fue de 5 dólares por tonelada y de desmonte 0.34 dólares por tonelada con ciclos efectivos de carguío 2.19 minutos en mineral y 2.31 minutos para desmonte; además de determinar la cantidad efectiva de pases las cuales son: 5 pases para mineral y 6 pases para el desmonte con equipos de acarreo de 24.43 toneladas.

Arias (2021), en la tesis llamada “Eficacia del sistema dispatch en reducción de demoras e influencia en la productividad (acarreo) en inicios de turno - UM Pucamarca 2021” hecho en la Universidad Nacional de Trujillo, demuestra que por medio de un control dado por dispatch al sistema de carguío y acarreo para reducir las demoras operativas se tienen resultados favorables teniendo un incremento de productividad de 107 Tn/Hr a 264 Tn/Hr en el inicio de cada cambio de turno obteniendo un ahorro aproximado de 26,000 dólares al mes, dando indicios para identificar y clasificar las actividades realizadas dentro del ciclo de carguío y acarreo.

Chávez (2023), en la tesis “Análisis de la productividad y la utilización de equipos en las operaciones de carguío y acarreo en la Mina Antamina” identificó los tiempos que intervienen en el equipo de carguío y del acarreo calculando los ciclos de trabajo y la producción horaria, de acuerdo a los datos utiliza el Match Factor para obtener la flota óptima de acarreo para sus excavadoras las cuales fueron de 10 y 16 volquetes, además se calcularon los costos unitarios disminuyendo en un 31 % es decir 0.25 USD/ m³, aumentando la producción de acarreo de 32 % y 33 % y disminuyendo en un 24 % la flota actual, por lo que en conclusión identificó los tiempos improductivos por demoras operativas que afectan a la disponibilidad de equipos y por ende a la productividad.

2.1.3 Locales

Teran y Cortez (2021), en la tesis denominada “Análisis para la selección y reemplazo de equipos de acarreo para mejorar la producción en una empresa minera de la Libertad” donde se evaluó la base de datos de carguío y acarreo proporcionado por la empresa, fichas técnicas de los equipos y la curva de rimpull que definirá efectivamente el dimensionamiento; además de reducir el costo de mantenimiento en 5,872.7 dólares por flota y reparaciones en un 484.84 dólares por flota ya que con 4 unidades menos se llegaría a plan mensual en la producción siempre y cuando se empleen equipos de tracción de 8x4.

Castrejon (2022), en la tesis identificada como “Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de material orgánico para aumentar la producción en la empresa Collotan S.A.A” donde se calculó el factor de acoplamiento, es decir el número de volquetes y excavadoras, para esto se llevó a cabo el control en 3 frentes de carguío donde se determinó que para una excavadora CAT 336 es necesario 07 volquetes teniendo como resultados el rendimiento efectivo de 119 toneladas por día con un factor de acoplamiento (MF de 1)

Salazar (2022), en la tesis de titulación llamada “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.” presentada en la Universidad Nacional de Cajamarca, busca identificar las eficiencias dentro de las operaciones, las cuales se vieron dentro del carguío y acarreo por lo que buscó clasificar, cuantificar y analizar los tiempos improductivos con el fin de incrementar la productividad teniendo como resultados una reducción de 65.53 % en horas de demoras para carguío y 57.44 % para acarreo. Además, de aumentar el porcentaje de utilización de equipos en carguío de 73.19 % a 82.42 % y en acarreo de 71.07 % a 81.39 %

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Movimiento de tierras

Según Tiktin (1997) denomina movimiento de tierras al “conjunto de operaciones que se realizan con los terrenos naturales, a fin de modificar las formas de la naturaleza o de aportar materiales útiles en obras públicas, minería o industria”

Las operaciones del movimiento de tierras en el caso más general son:

- Excavación o arranque.
- Carga.
- Acarreo.
- Descarga.
- Extendido.
- Humectación o desecación.
- Compactación.
- Servicios auxiliares (refinos, sancos, entre otros).

La excavación consiste en extraer o separar del banco porciones de su material. Cada terreno presenta distinta dificultad a su excavabilidad y por ello en cada caso se precisan medios diferentes para afrontar con éxito su excavación. Los productos de excavación se colocan en un medio de transporte mediante la operación de carga. Una vez llegado a su destino, el material es depositado mediante la operación de descarga. Esta puede hacerse sobre el propio terreno, en tolvas dispuestas a tal efecto, entre otros. Para su aplicación en obras públicas, es frecuente formar, con el material aportado, capas de espesor aproximadamente uniforme, mediante la operación de extendido.

De acuerdo con la función que van a desempeñar las construcciones hechas con los terrenos naturales aportados, es indispensable un comportamiento mecánico adecuado y una protección frente a la humedad.

Estos objetivos se consiguen mediante la operación llamada compactación, que debido a un apisonado enérgico del material consigue las cualidades indicadas (p.1.1).

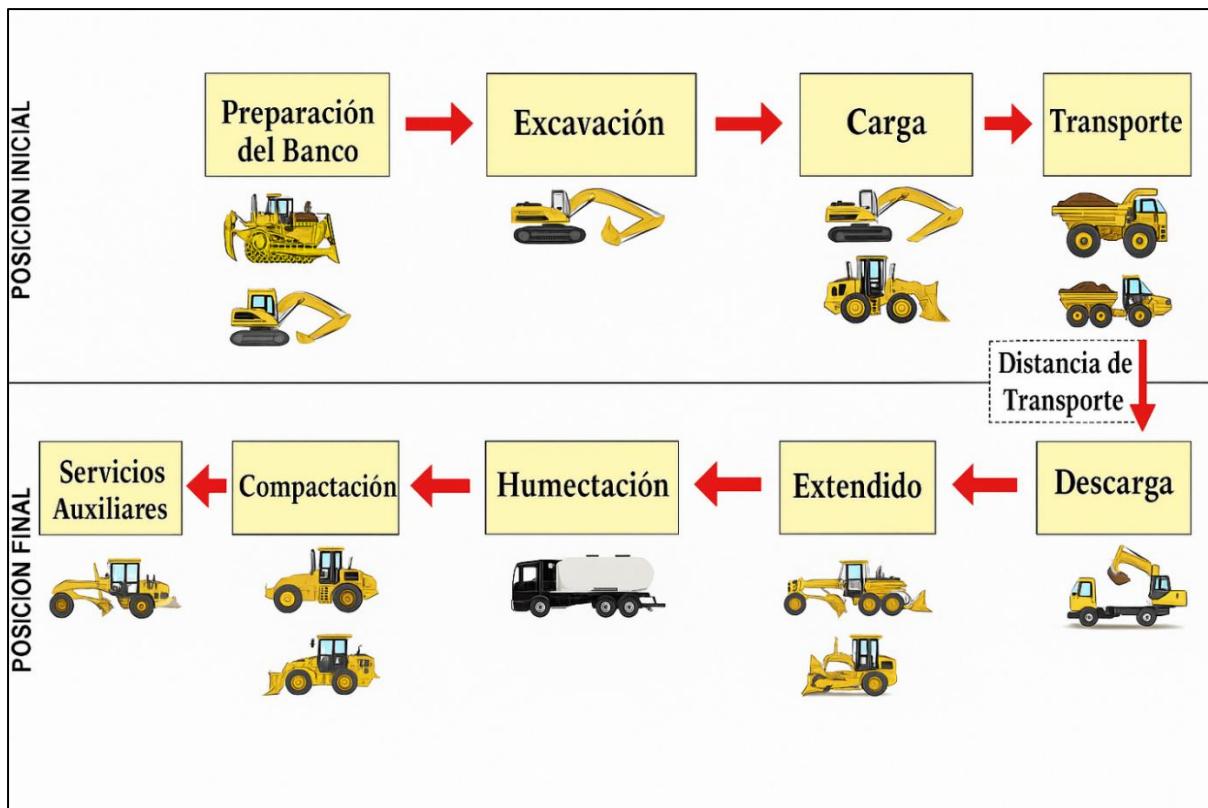


Figura 1. Operaciones en movimiento de tierras

Fuente: Chávez, (2023).

2.2.2 Transporte de material en la minería superficial

El transporte de material en la minería superficial es crucial porque influye directamente en la eficiencia y los costos operativos de la mina, por lo que un sistema de transporte bien diseñado y gestionado puede reducir significativamente los costos de producción y mejorar la productividad general de la operación minera (Pernía, 2014).

Por otro lado, el transporte de mineral lixiviado optimizan la transferencia de mineral extraído durante la operación en pilas de lixiviación, aumentando la capacidad y eficiencia del apilado facilitando el flujo continuo de movimiento de mineral permitiendo una recuperación más rápida y mayor rentabilidad, con la finalidad de construir canchas de lixiviación más grandes y eficientes (Wasson, 2013).

2.2.2.1 Ciclo de acarreo

Cruzat (2008) indica que en cualquier trabajo de remoción de tierra, las máquinas se adaptan a un ciclo de trabajo determinado. En este ciclo están incluidas las operaciones de carga, acarreo, descarga y retorno al lugar original, con algunas variaciones en ciertos casos, se puede mostrar la siguiente ecuación.

$$Ttc = TC + Trcc + TD + Trsc$$

Ecuación 1.

- TC = Tiempo de carguío.
- $Trcc$ = Tiempo de recorrido con carga.
- TD = Tiempo de descarga.
- $Trsc$ = Tiempo de recorrido sin carga.
- Ttc = Tiempo total del ciclo.

Por otro lado, se define los tiempos mencionados:

a) Tiempo de carguío

Dependerá del equipo de carga y la capacidad de la tolva; evaluando la coincidencia entre el tamaño de la tolva y la capacidad del cucharón del equipo de carga se establece el volumen y el tiempo de carga. Por lo tanto, el tiempo de carga será el tiempo que tarda un ciclo de carga por el número de cargas totales. Para los equipos de carguío como cargadores se considera al tiempo de carguío con la denominación de tiempo de carga con intercambio, que viene a ser el tiempo que tarda un vehículo de acarreo en obtener la carga útil más el tiempo que tarda en abandonar la zona de carga y en que otro se coloque para cargar (Rondan, 2014, p.37).

b) Tiempo de recorrido con carga

Parte del ciclo en que un vehículo de acarreo cargado tarda en recorrer hasta el destino del material. Los tiempos de viaje y retorno dependerán de la potencia del motor, el peso del vehículo, las distancias de acarreo, retorno y las condiciones del camino (Rondan, 2014, p.37).

c) Tiempo de descarga

El tiempo de descarga depende del tipo de unidad que se usa para el acarreo y la congestión en la zona de descarga. Hay que considerar que en el área de descarga hay otro equipo de apoyo. Los tractores están esparciendo el material y pueden estar trabajando otras unidades de compactación. Las unidades de descarga posterior necesitan estar totalmente quietas durante la descarga, lo cual significa que el camión debe detenerse completamente y avanzar en reversa una determinada distancia. Después de descargar el material, el camión gira y regresa al área de carga. Siempre hay que tratar de visualizar las condiciones en el área de descarga para estimar el tiempo (Rondan, 2014, p.37).

d) Tiempo de recorrido sin carga

Parte del ciclo en el que el vehículo de acarreo retorna vacío para obtener otra carga al a zona de carguío. El tiempo del ciclo del sistema de carguío y acarreo es la suma de los tiempos de carga, de ida, de descarga y de regreso. Un ciclo comprende dos tipos de tiempos: tiempo fijo y otro variable. El tiempo fijo corresponde a las maniobras, carga y descarga, y el tiempo variable es que emplea el equipo en acarrear el material (Rondan, 2014, p.37-38).

2.2.2.2 Costo de alquiler para un equipo de acarreo

El costo de alquiler de un volquete en minería no solo está determinado por la tarifa pactada, sino también por las características del equipo y el esquema de contrato según la empresa que requiera el servicio.

Según Rodríguez (2004), la estructura de costos mineros debe analizar tanto los factores técnicos como los financieros, ya que influyen en la rentabilidad de la operación; en la misma línea, O'Hara (1977) enfatiza que la estimación de costos en minería a tajo abierto requiere contemplar variables como la capacidad del equipo, la productividad y la duración del contrato, pues estos elementos condicionan el valor final por tonelada transportada.

Por su parte, Bhattacharya (2004) señala que los costos de transporte y acarreo representan un componente significativo dentro de la planificación minera, y que la decisión entre alquilar, tercerizar o adquirir equipos propios debe basarse en un análisis comparativo de productividad y disponibilidad. Estas consideraciones permiten concluir que la evaluación integral del costo de alquiler es esencial para optimizar recursos y garantizar la sostenibilidad de las operaciones.

2.2.3 Criterios en la selección de un equipo

Loayza (2002) muestra algunos aspectos según el tipo de trabajo, ya que permite identificar las características técnicas que debe cumplir el equipo y cuales deben ser evaluadas, analizando los siguientes aspectos:

- La ubicación geográfica de la mina.
- Las condiciones climáticas.
- La presencia del nivel freático.
- Las características del material a trabajar.
- El horario de trabajo.
- La topografía de la zona.
- El tiempo de vida de la mina.
- Requerimientos de producción.

2.2.4 Características técnicas de equipos de acarreo

Respecto al tema, Ortiz. (2010) manifiesta:

Los equipos de transporte se pueden dividir en unidades discretas como en el caso de camiones, trenes o transporte de flujo continuo; pueden tener un camino fijo como es el caso de trenes que requieren el tendido de líneas ferreas, o bien pueden desplazarse libremente por cualquier camino, como es el caso de los camiones; además como transporte de flujo continuo se encuentran las fajas transportadoras (p. 204-205).



Figura 2. Equipos de acarreo en minería a cielo abierto

Fuente: Chávez, (2023).

2.2.4.1 Dumper

Son volquetes muy reforzados y robustos apropiados para circular por pistas interiores de obras en mal estado, tiene tres ejes, los dos traseros son de tracción y el delantero de dirección pero puede ser también de tracción, lo cual es preferible (Figura 3).

La tara oscila según marcas de 13,7 – 16 toneladas con un PMA de 26 toneladas, luego la carga puede ser de 11-13 toneladas, pero dentro de la obra llevan fácilmente una carga muy superior, entre 18-28 toneladas (Tiktin, 1997, p. 262-263)



Figura 3. Dumper de 4 ejes, ruedas gemelas, PMA 26 toneladas

Fuente: Adaptado de Tiktin, (1997).

2.2.4.2 Semirremolques basculantes

En el argot de las obras se llaman corrientemente bañeras, porque la caja es muy alargada y tiene gran capacidad de 18 m³ a más. Están formados por una cabeza tractora (250-270 HP) que puede tener eje doble trasero o sencillo.

El semirremolque basculante apoya mediante un pivote (King pin) sobre una placa rótula (llamada 5^a rueda) colocada en la cabeza tractora, el semirremolque tiene dos o tres ejes traseros y el vehículo completo puede tener entonces 4 o 5 ejes. El PMA es de 58 toneladas con una carga de 24 toneladas y una tara de 14 toneladas (Figura 4).

Un inconveniente del equipo es que puede transportarse en firmes carreteras, no sobre caminos sin afirmar porque solo tiene tracción la cabeza tractora y la mayor parte de peso está atrás, en

los ejes del semirremolque; además tienen tendencia a patinar e inestabilidad produciéndose muchos vuelcos si hay peraltes en las curvas (Tiktin, 1997, p. 261-262).



Figura 4. Volquete con tractor de 2 ejes y semirremolque de 3 ejes

Fuente: Adaptado de Tiktin, (1997).

2.2.4.3 Dumperes extraviales (Of Road)

Todos los elementos de un dumper extravial están dotados de una gran robustez sobre todo en los elementos de suspensión, eje y bastidor ya que circulan por pistas mal construidas, los amortiguadores desempeñan un papel fundamental en la estabilidad de los dumpers, ya que además del gran peso que tienen normalmente (Figura 5); en cuanto a su velocidad de desplazamiento son capaces de alcanzar los 50 o 60 km/h. en pistas cuidadas por lo que necesitan motores de gran potencia, tienen la dirección totalmente hidráulica permitiendo maniobrar con el mínimo esfuerzo para el conductor, logrando radios de giro mínimos. El límite para la capacidad de carga podría situarse como 75 toneladas de carga útil (pay load) para obras civiles, llegando hasta 250 toneladas en minería, para el desgaste de neumáticos se controlan en toneladas - kilómetro por hora con una estimación de vida en 3 000 horas (Tiktin, 1997, p. 263-265).



Figura 5. Dumper extravial de chasis rígido de 26 m³ y carga útil de 40 toneladas

Fuente: Adaptado de Tiktin, (1997).

2.2.5 Factores que condicionan en la elección de un equipo de acarreo

2.2.5.1 Rendimiento

Cruzat (2008) nos manifiesta que el rendimiento es el promedio de unidades de producción (m³, Ton), realizadas por el equipo por cada unidad de tiempo de operación y el rendimiento de un equipo es directamente proporcional a la velocidad de producción del equipo e inversamente proporcional al tiempo de pérdida operacional.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Unidades de producción promedio}}{\text{Unidad de tiempo de operación}}$$

Ecuación 2.

2.2.5.2 Horas Disponibles (HD)

Saldaña (2013) establece que las horas disponibles del equipo es el tiempo en que el equipo está disponible para producir; es decir, a disposición de operaciones mina, un esquema general del funcionamiento de las horas de trabajo es la siguiente:

- Horas Totales (HT) = 1 guardia ~ 12 horas.
- Horas Disponibles (HD) = Operaciones Mina.
 - Horas Operativas (HR) = Equipo encendido y produciendo
 - Demoras (D) = Equipo encendido sin producir
 - Stand By (SB) = Equipo apagado pero disponible
- Horas Malogrado (HM) = Mantenimiento.
 - Programado (Hp)
 - No programado (Hnp)

2.2.5.3 Dimensionamiento de flota de acarreo

Para el análisis del cálculo del número de volquetes por cada frente de minado, se considera el rendimiento teórico del equipo carguío entre el rendimiento del equipo acarreo (Barranco, 2017)

$$n = \frac{\text{Rendimiento teórico del equipo carguío}}{\text{Rendimiento de equipo acarreo}}$$

Ecuación 3.

- n = Número de volquetes.

2.2.6 Factores que afectan la performance de los camiones

Cruzat (2008) indica que los diferentes factores que afectan la performance de los camiones se agrupan en dos:

- a) Factores para producción
 - Buena fragmentación.
 - Propiedad del material.
 - Condiciones mecánicas y eléctricas del equipo:

- Fuerza de jale o tipo
 - Tracción
 - Velocidades
 - Habilidad y eficiencia del operador.
- b) Factores de acarreo
- Capacidad de la unidad.
 - Distancia de acarreo.
 - Condiciones de la carretera (pendiente compensada)
 - Resistencia de rodamiento (RR)
 - Resistencia a la pendiente (RP)
 - Resistencia al viento (aire)
 - Resistencia de fricción interna
 - Ciclo de operación.
 - Factores climatológicos, presión atmosférica, temperatura, entre otros.

El tamaño óptimo del camión para una distancia dada se puede obtener graficando los costos unitarios versus el tamaño de los camiones y obteniendo el mínimo de la curva. A medida que profundiza el tajo, la distancia aumentará.

2.2.7 Producción

Respecto al tema, Ortiz C. (2010) manifiesta:

La producción es el volumen o peso total de material que debe manejarse en una operación específica. Puede representar tanto al mineral con valor económico que se extrae, como al estéril que debe ser removido para acceder al primero. A menudo, la producción de mineral se define en unidades de peso, mientras que el movimiento de estéril se expresa en volumen. La capacidad de producción es el nivel de actividad máximo que puede alcanzarse con una estructura productiva dada. El sistema de producción en la minería a cielo abierto sigue una lógica de planificación sobre la producción, con anticipación generalmente de manera semanal, se programa las cantidades de producción para el periodo siguiente. Además, se trabaja típicamente con grandes cantidades de Stock dentro de sus áreas de producción, para la prevención de problemas o cambios en la operación.

$$\text{Producción} = \frac{\text{Unidades de trabajo}}{\text{Jornada}}$$

Ecuación 4.

2.2.8 Evaluación económica en minería superficial

Sobre el tema, León (2017) menciona que la viabilidad económica determina si un proyecto es rentable o no con distintos indicadores de sensibilidad financiera identificando los posibles riesgos que podría sufrir, este es el caso del precio de los metales y los costos operativos que pueden ser datos muy volátiles; por lo que un control eficiente de los recursos maximiza los beneficios y minimiza los costos cumpliendo con la evaluación de los impactos ambientales y sociales, asegurando que los proyectos sean sostenibles y cumplan con las normativas.

2.2.8.1 Costo de transporte por camiones

Preciado y Luna (2017) en su artículo afirma que los rubros más influyentes en los costos de transporte por camiones son:

Tabla 1. Costo de transporte por camiones en porcentajes

Costo de transporte por camiones	
Rubro	Porcentaje (%)
Costo de llantas	40
Costo de mantenimiento	30
Costo de lubricantes y combustible	20
Labor y operador	10

Fuente: Preciado y Luna, (2017).

2.2.8.2 Costo total de producción en minas a cielo abierto

En base a los costos suministrados por cinco minas a cielo abierto de Estados Unidos, se ha confeccionado el siguiente gráfico de porcentajes de costos aproximados (Rodríguez, 2019)

Tabla 2. Costo total de producción en cielo abierto en porcentajes

Costo total de producción en minas a cielo abierto	
Rubro	Porcentaje (%)
Voladura	25
Carguío	10
Transporte	34
Chancado	20
Equipos auxiliares	7
Servicios auxiliares	4

Fuente: Rodríguez, (2019).

2.2.8.3 Costo unitario

Un costo unitario, el cual también se denomina costo promedio, se calcula dividiendo el costo total entre el número de unidades relacionadas. Las unidades se podrían expresar en varias formas. Algunos ejemplos son los automóviles ensamblados, los paquetes entregados o las horas trabajadas. Al sumar los costos unitarios en toda la cadena de valor, los gerentes calculan el costo unitario de los diferentes bienes o servicios que entregan, y determinan la rentabilidad de cada bien o servicio permitiendo a los gerentes a optar en los productos en los cuales deberían invertir más recursos (Charles et al., 2012, p.35).

2.2.8.4 Análisis de costo – volumen – beneficio (CVB)

Bukhdir (2024) en su artículo nos indica que el CVB es una herramienta financiera que examina la relación entre los costos, el volumen de producción y las ganancias, facilitando a las empresas a entender cómo los cambios en los costos y el volumen de producción afectan sus beneficios. Los costos se dividen en fijos (que no cambian con el nivel de producción) y variables (que varían directamente con el volumen de producción).

El CVB se utiliza para determinar el punto de equilibrio, es decir, el nivel de tarifa necesario para cubrir todos los costos y empezar a generar beneficios.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Acarreo: Transporte de minerales y rocas desde el lugar de extracción hasta el área de procesamiento o almacenamiento, es un proceso crucial para mantener la eficiencia operativa en una mina, ya que implica el uso de camiones y otros equipos de transporte especializados (Barrick, 2004).

Carguío: Proceso de cargar el material extraído (minerales, rocas) en equipos de transporte, como camiones o cintas transportadoras para su traslado (Barrick, 2004).

Costos operativos: Gastos asociados a la operación diaria de una mina, incluyendo costos de extracción, procesamiento, mantenimiento de equipos y salarios del personal; son fundamentales para evaluar la viabilidad económica de una operación minera (Poxleitner, 2019).

Dirección hidráulica: Sistema de dirección asistida que utiliza energía hidráulica para facilitar la maniobrabilidad de vehículos pesados utilizados en minería, mejorando la eficiencia y seguridad en la operación de maquinaria minera (Tiktin, 1997).

Eje de tracción: Componente de los vehículos mineros que transmite la potencia del motor a las ruedas, permitiendo el movimiento y la tracción en terrenos difíciles; siendo esencial para el funcionamiento de camiones y otros equipos de transporte en la mina (Tiktin, 1997).

Factor de acoplamiento: Relación entre la capacidad de carga de los equipos de acarreo y los de carguío, optimizando la eficiencia del transporte de materiales, un buen factor de acoplamiento reduce costos y mejora la productividad permitiendo el dimensionamiento correcto de la flota de acarreo (Gómez, 2012).

Mineral lixiviado: Material resultante del proceso de lixiviación, donde se extraen metales valiosos de los minerales mediante el uso de soluciones químicas, este proceso es común en la minería de metales preciosos (Marín, 2007).

Operación minera: Proceso de excavación y recuperación de minerales y rocas de la corteza terrestre, incluye varias etapas como perforación, voladura, carguío y acarreo (Minería, 2024).

Peralte: Mayor elevación de la parte exterior de una curva en relación con la interior, en carreteras o vías férreas dentro de una mina, este diseño mejora la seguridad y eficiencia del transporte de materiales (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2009).

Semirremolque: Remolque sin eje delantero que se apoya en el vehículo tractor, utilizado comúnmente en el transporte de materiales pesados (Diccionario Vial, 2024).

Tractor: Vehículo motorizado utilizado para arrastrar remolques o maquinaria en la mina esencialmente para el movimiento de equipos y materiales durante la operación (Tiktin, 1997).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El trabajo de investigación se ubica en la unidad minera El Toro por la compañía Summa Gold Corporation centrada en el caserío de Coigobamba, distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de la Libertad. La delimitación en el transporte de material lixiviado dividido en 4 puntos estratégicos teniendo una área de 1.18 km², los cuales se mostrarán por coordenadas en el sistema UTM DATUM: WGS-84 en la zona 17 Sur, los datos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Ubicación del sector de estudio

Puntos	Norte	Este	Cota (m)
1	9,131,314	830,651	3,411
2	9,133,028	829,885	3,447
3	9,133,243	830,496	3,549
4	9,131,553	831,228	3,546

En el Plano N° 01: Ubicación satelital se detalla la localidad de la unidad minera El Toro y el área donde se realiza el acarreo de lixiviación.

Por consiguiente en el Plano N° 02: Ubicación geográfica se especifica los departamentos, provincias y distritos del Perú, en el departamento de Huamachuco (color rojo) se ubica la zona de estudio con los puntos GPS de la Tabla 3 y el establecimiento de la unidad mineral El Toro.

3.2 ACCESIBILIDAD

Las principales vías terrestres de acceso:

- Partiendo desde la ciudad de Cajamarca en dirección al noroeste por la vía panamericanaa (salida a la costa), desde Trujillo por la carretera PE-10A al Este en dirección a la serranía peruana la cual está asfaltada hasta la plazuela central de Huamachuco, posteriormente nos dirigimos a garita Shiracmaca en el mismo sentido y por último en trocha hasta la zona de estudio, tal y como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Accesibilidad por vía costera a Trujillo

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo Aprox. (Hr)
Cajamarca – Trujillo	299	5.7
Trujillo – Huamachuco	181	4.2
Huamachuco – Garita Shiracmaca	6.3	0.3
Garita Shiracmaca – Zona estudio	4	0.2

- Desde la ciudad de Cajamarca en dirección al sureste por la carretera longitudinal asfaltada de la sierra hacia Cajabamba, luego en dirección Sur – La Libertad por la vía de Marcabalito hasta la plazuela central de Huamachuco, posteriormente nos dirigimos a garita Shiracmaca en dirección al Este y por último en trocha hasta la zona de estudio, tal y como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Accesibilidad a vía serrana a Cajabamba

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo Aprox. (Hr)
Cajamarca – Cajabamba	122	3
Cajabamba – Huamachuco	40.1	1.8
Huamachuco – Garita Shiracmaca	6.3	0.3
Garita Shiracmaca – Zona estudio	4	0.2

3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Tipo, nivel, diseño y método de investigación

- **Tipo:** El tipo de investigación es aplicada porque usa el conocimiento en un contexto real para resolver un problema concreto, radica en descubrir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento.
- **Nivel:** Es nivel de investigación es descriptiva – explicativa ya que consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su comportamiento o estructura.
- **Diseño:** El diseño del presente estudio es transversal no experimental, por el hecho de que no existe manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos.
- **Método:** El método de esta investigación es cuantitativo debido a que se utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamientos y probar teorías.

3.3.2 Población de estudio

Flota de 15 volquetes

3.3.3 Muestra

Para un número finito de datos, la muestra se calcula de la siguiente manera (García, Reding y Lopez, 2013).

$$N = \frac{N * Z_a^2 * P * Q}{D^2 * (N - 1) + Z_a^2 * P * Q}$$

Donde:

$$N = \text{Población} = 15$$

$$Z_a = \text{Seguridad (Se considera un factor de seguridad al 90 \%)} = 1.6$$

$$\begin{aligned}
 P &= \text{Proporción esperada (3 \%)} = 0.03 \\
 Q &= 1 - p = 1 - 0.03 = 0.975 \\
 D &= \text{Precisión (5 \%)} = 0.05 \\
 N &= 9
 \end{aligned}$$

La cantidad es de ocho volquetes de 24 cubos y un volquete de 30 cubos de prueba.

3.3.4 Unidad de análisis

El ciclo de los volquetes.

3.3.5 Definición de variables

3.3.5.1 Variable independiente

Volquete de 30 y 24 cubos.

3.3.5.2 Variables dependientes

- Ciclo.
- Rendimiento.
- Dimensionamiento.
- Costo unitario.

Tabla 6. Operacionalización de variables

Variables	Definición Operacional	
	Dimensión	Indicadores
Independiente		
Volquete de 30 y 24 cubos	Capacidad	m ³
Dependiente		
Ciclo	Tiempo	Min
Rendimiento	Tonelada	Tn/Hr
Dimensionamiento	Cantidad	Ud
Costo unitario	Gasto por tonelada	USD/Tn

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 Técnicas

La técnica empleada para el desarrollo de esta investigación fue la observación y análisis documental, tal y como se describe en la Tabla 7.

Tabla 7. Técnica de recolección de datos

Técnica	Instrumentos
Observación.	Registros para la toma de tiempos
	Libreta de apuntes en campo
	App para la toma de velocidades
	Cronómetro
Análisis documental.	Base de datos por el sistema MIS - Dispatch
	Plan de tonelaje removido en la zona de lixiviado
	Planos de rutas en lixiviado

3.4.2 Materiales y equipos

- Cámara fotográfica: Sirve para evidenciar la toma de datos en campo.
- Celular: Con algunas App instaladas para la toma de datos por GPS y el cronómetro digital.
- Laptop: Para la manipulación de datos y análisis cuantitativos usando software's especializados en ingeniería como el SPSS, AutoCAD, Microsoft Excel y Word en conjunto con Power BI.

3.5 PROCEDIMIENTOS

La técnica empleada consta de 3 tres etapas (dos de gabinete y una de campo).

3.5.1 Etapa preliminar de gabinete

En esta etapa se procedió a la revisión de trabajos de investigación enfocando el análisis operacional de carguío y acarreo en minería superficial, posteriormente a distintos autores de

artículos, libros y revistas donde presentan las fórmulas para el correcto dimensionamiento de flotas y análisis de costo – volumen – beneficio.

3.5.2 Etapa de campo

En esta etapa se realiza el recorrido general a la zona de estudio en conjunto con los planos de rutas principales y secundarias, durante esta etapa se procede a registrar los tiempos de acuerdo al ciclo de minado en la zona de lixiviado, además de tomar distintas observaciones recurrentes para determinar tiempos muertos o demoras operativas.

3.5.3 Etapa final de gabinete

La información registrada en campo es digitalizada a una base de datos en Excel para su posterior análisis estadístico descriptivo con el fin de obtener una información entendible, válida y confiable, la presentación de datos será visualizada el software SPSS; por otro lado, se diseñará un dashboard en power BI de los tiempos de mantenimiento y velocidades con la data de Dispatch.

3.6 PROCESO PRODUCTIVO DE LA UNIDAD MINERA EL TORO

Según la Figura 6 el proceso inicia desde la perforación y voladura para obtener un P80 óptimo, posteriormente la extracción de mineral con el carguío en cada banco del tajo llevando a cabo el acarreo de material hasta el pad dinámico ramificado por celdas, en este punto el material es lixiviado por un periodo de 15 a 20 creando una solución que es enviada por medio de tuberías a pozas de recolección y posteriormente a planta para su futuro procesamiento, aun así el proceso concluye removiendo este material de las celdas hasta el pad estático donde se sigue lixiviando por medio de equipos auxiliares en el acoplamiento y remoción del material hasta obtener la mayor recuperación, la información es registrada al final en el MIS de Dispatch con la finalidad de realizar un análisis cuantitativo y seguimiento eficaz de la producción.



Figura 6. Diagrama del proceso operacional de la mina El Toro

3.6.1 Descripción de la zona de trabajo

La zona de trabajo se ramifica en dos pad dinámicos muy importantes, los cuales son: el pad dinámico N.^o 07 y el pad dinámico N.^o 08; se denomina pad dinámico N.^o 08 donde se ubica específicamente la celda C_601, se remueve el material lixiviado a la plataforma de descarga en el Nv. 3490 ubicado este último en el pad estático, por lo que se vuelve a reprocesar el material; en la Figura 7 esta ruta de acarreo está sombreada de color rojo, siendo el circuito de doble carril para la flota en estudio; al igual que las vías principales de acceso al pad los cuales están sombreadas de color verde.

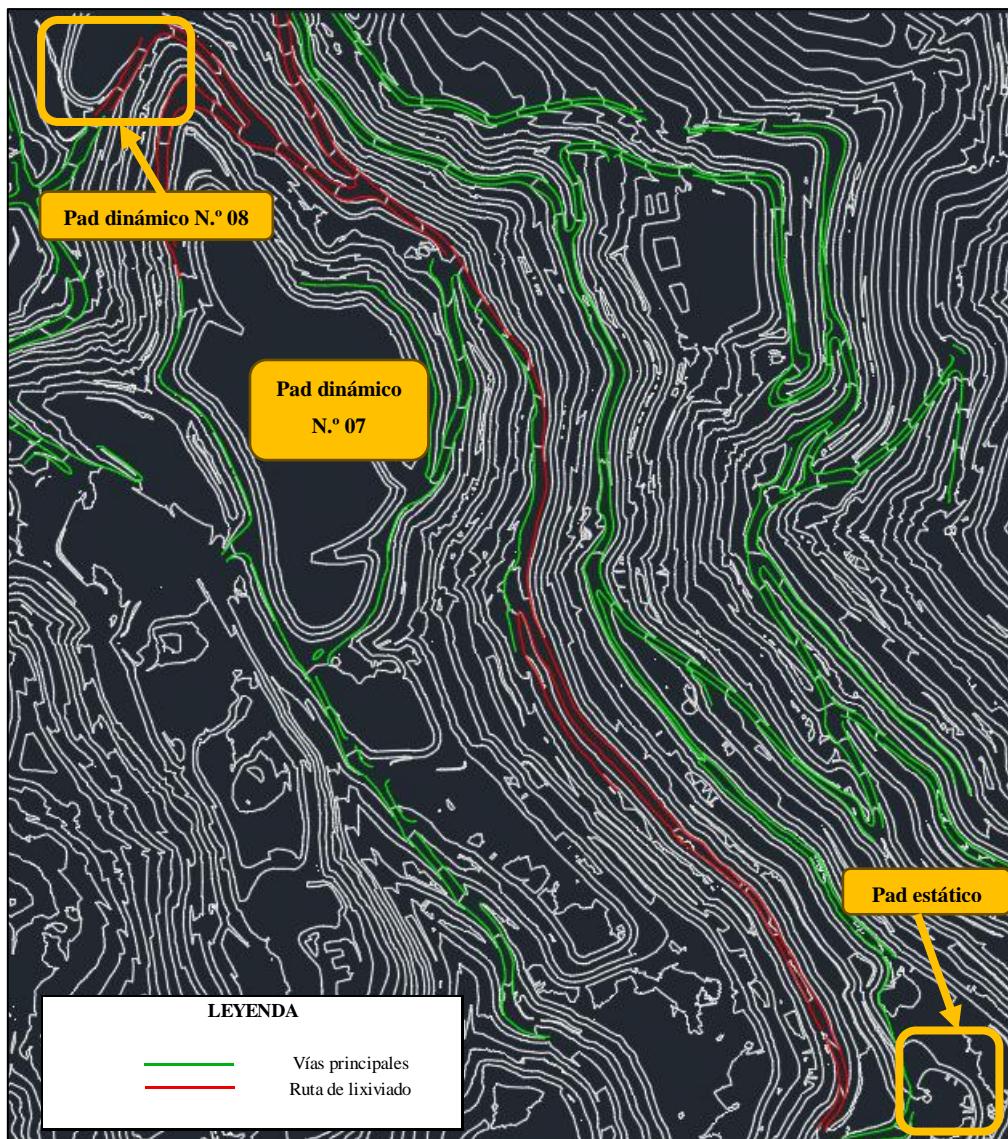


Figura 7. Rutas principales en la zona de lixiviado

En la zona de carguío se considera moderadamente crítica para la salida de los equipos de acarreo, puesto que se encuentra una rampa extensa con longitud de 287 metros y una pendiente positiva mayor al 8% (Figura 8), además se contempla que por la misma rampa existe un tránsito consistente de volquetes que transportan mineral a otras celdas de descarga, por lo que al tener un riesgo crítico se designa un vigía en puntos ciegos para el acarreo seguro y correcto de los operadores durante sus maniobras.

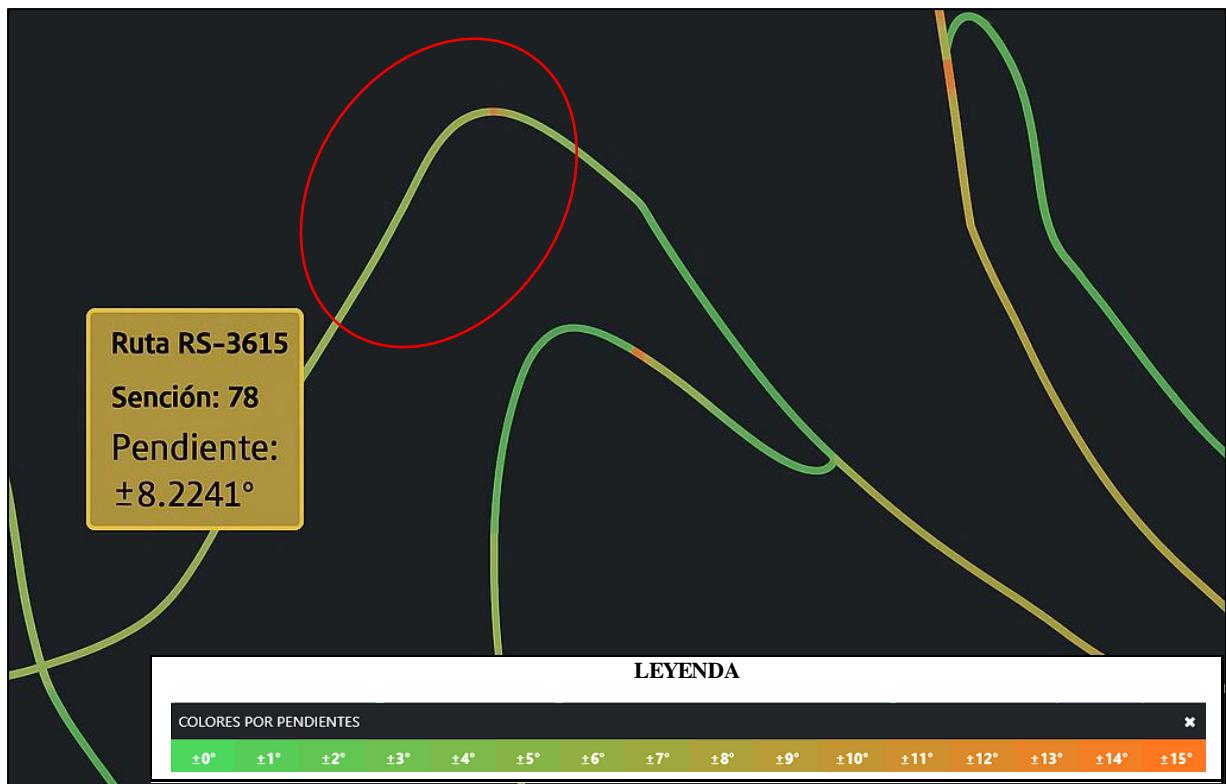


Figura 8. Zona crítica para el traslado de material lixiviado

Por otro lado, la plataforma de descarga se tiene distintos escenarios de trabajo, pues al iniciar el relleno de material de un nuevo nivel las condiciones operacionales son continuamente variables por el crecimiento permanente del pad estático, un factor son los anchos de conexión de la vía principal con la zona de descarga (Figura 9), por lo que se dificulta el tránsito y la maniobra de los volquetes, así como la interacción de los equipos auxiliares. Se tiene un ancho promedio de 52 a 60 metros en la plataforma.



Figura 9. Nivel 3490 en el pad estático

De acuerdo a las características del material durante el proceso de acarreo, se tiene restricciones en cuanto a las condiciones climáticas, esto permite realizar distintos estudios durante la operación donde se presenta 02 ámbitos de estudio (temporada de lluvia y temporada seca). El presente estudio se realizará en solo la temporada seca.

Los trabajos de producción de material lixiviado están enlazados a la producción de mineral propuesto por el área de planeamiento con los planes semanales y mensuales, por lo tanto, la secuencia de movimiento de material lixiviado está de acuerdo a la producción extraída de los frentes operacionales en el tajo.

3.6.2 Rutas de acarreo

Las vías del pad dinámico N.^o 08 hasta la descarga mantienen pendientes moderadas hasta críticas ($> 8\%$ de pendiente) y tramos horizontales, tales como la plataforma de carguío con 32 metros de ancho, la zona de descarga y la ruta en dirección a la poza N.^o 03 (Figura 10 y 11), por lo tanto, las condiciones para la evaluación de los 02 equipos de acarreo son iguales.



Figura 10. Plataforma de carguío en la Celda C_601



Figura 11. Recorrido de los volquetes en la zona de lixiviado

Para mantener estas vías de acarreo y accesos en óptimas condiciones, se realiza mantenimiento de manera continua, es por este motivo que se asigna equipos auxiliares primordiales durante cada inicio de guardia. Al mantener estas condiciones adecuadas, los volquetes transitan con mayor velocidad donde se mejora el ciclo de acarreo, además de evitar mantenimientos mecánicos de los equipos y disminuir daños en los neumáticos.

3.7 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

El carguío y acarreo al ser uno de los ítems más importantes para las operaciones enfocado en costos para cada proyecto minero, requieren una selección de equipos adecuados para reducir los gastos relacionados a la operación. Estas operaciones con este mismo enfoque permiten la evaluación de equipos de acarreo con mayor capacidad y reducción de volquetes.

3.7.1 Equipo de carguío

En la operación se tiene una excavadora sobre orugas Volvo EC750E, equipos que son utilizados para el movimiento de tierras a cielo abierto para excavaciones de grandes dimensiones entre 900 a 1000 toneladas.



Figura 12. Excavadora Volvo EC750E

Fuente: Summa Gold - Oficina de Productividad, (2023).

Tabla 8. Características de la excavadora Volvo EC750E

Especificaciones Generales	
Marca	Volvo
Modelo	EC750E
Año de fabricación	2021
Capacidad del cucharón	4.16 m ³
Capacidad del tanque de combustible	211 galones
Rendimiento teórico	900 Tn/Hr
Motor	
Modelo del motor	Volvo D16J
Potencia bruta	527 hp (393 kW) a 1,800 rpm
Potencia neta	526 hp (392 kW) a 1,800 rpm
Número de cilindros	6
Dimensiones	
Longitud de transporte	13.22 m
Altura máxima de transporte	4.95 m
Ancho máximo de la máquina	4.34 m
Longitud de la cadena en el suelo	4.75 m
Ancho de zapata estándar	0.9 m
Alcance máximo a nivel del suelo	12.87 m
Profundidad máxima de excavación	8.37 m
Altura máxima de descarga	8.65 m
Sistema hidráulico	
Fuerza de arranque del cucharón	359 kN
Fuerza de desprendimiento del brazo	298 kN
Presión sobre el suelo	78.6 kPa
Mecanismo de giro	
Velocidad de desplazamiento – Baja	3 Km/Hr
Velocidad de desplazamiento – Alta	4.7 Km/Hr

Fuente: Ficha Técnica de Volvo EC750E, (2016).

3.7.2 Equipos de acarreo

Para el acarreo, se utiliza camión volquete tipo 8x4R (Heavy Tipper), este equipo permite realizar el desplazamiento eficiente de material después del carguío por su configuración rígida, chasis reforzado y tolva semirremolque, siendo lo más eficientes hasta el momento, por otro lado, para el estudio del equipo con menor capacidad se utiliza un volquete 6x4T el cual su función principal es remolcar una tolva incorporada. En la Figura 13 se muestra que, la asignación (A) es el volquete Volvo FMX 6X4T y la asignación (B) es el volquete FMX 8X4R.

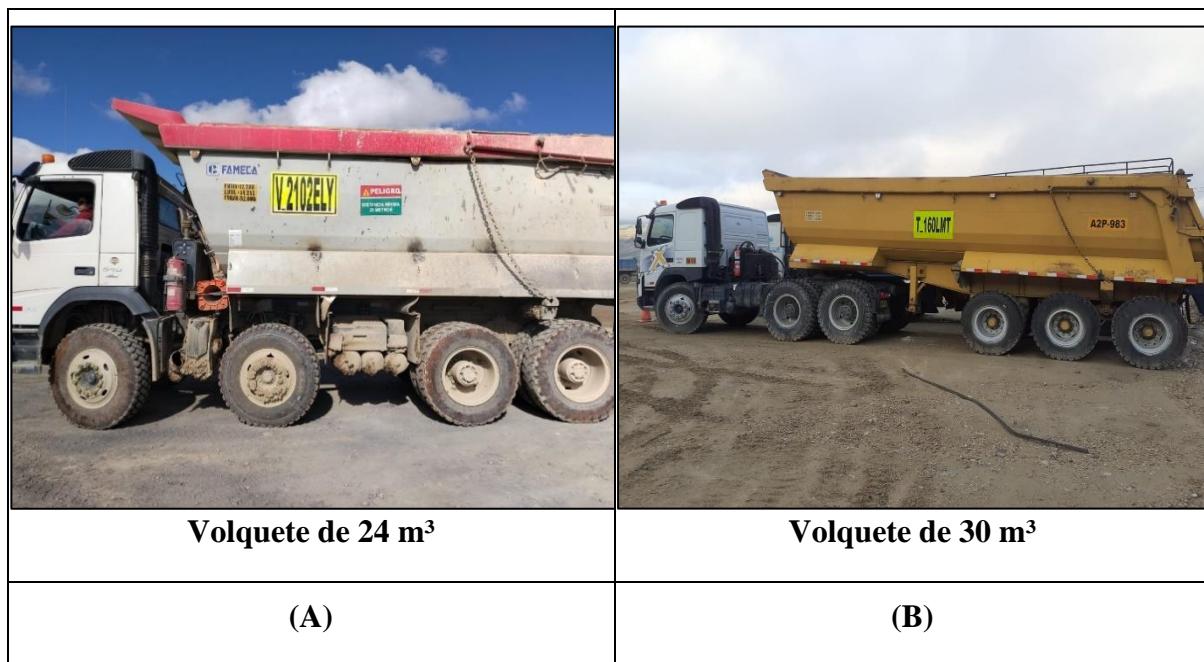


Figura 13. Volquetes de acarreo de 24 y 30 metros cúbicos

Fuente: Summa Gold - Operaciones Mina, (2024).

Tabla 9. Aspectos generales de volquetes de acarreo

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Capacidad	Potencia	Año
Volquete	Volvo	FMX 6X4T	01	24 m ³	500 cv	2021
Volquete	Volvo	FMX 8X4R	01	30 m ³	540 cv	2021

Fuente: Summa Gold - Oficina de Productividad, (2023).

Tabla 10. Características de volquetes Volvo FMX 8X4R y FMX 6X4T

Especificaciones	Volvo FMX 6x4T	Volvo FMX 8x4R
Configuración de ejes	6x4 Tracto	8x4 Rígido
Motor	D13K500	D13K540
Torque máximo	2,500 Nm a 980 – 1,270 rpm	2,600 Nm a 1,000 – 1,460 rpm
Peso bruto vehicular (GVW)	68 Tn (aprox.)	74 Tn (aprox.)
Transmisión	I-Shift automatizada	
Suspensión	Ballestas delanteras / Neumática trasera	Ballestas parabólicas en ambos ejes
Dimensiones (L x A x H)	6.9 m x 3.2 m x 3.14 m	11.2 m x 2.9 m x 3.9 m
Tanque de combustible	105 galones	140 galones
Norma de emisiones		Euro 6
Características adicionales	Frenos VEB+, retardador, crucero adaptativo, monitores neumáticos	

Fuente: Fichas Técnicas de Volvo FMX, (2016).

3.8 PLAN DE EJECUCIÓN EN LA ZONA DE LIXIVIACIÓN

La finalidad de realizar la extracción de mineral del tajo al pad dinámico y no directamente al pad estático es porque no existe área suficiente de descarga para este material, es por esta razón que se distribuyen en celdas sectorizadas de forma ascendente numéricamente, según el reporte mensual por el área de planeamiento se remueve el material de forma progresiva y ordenada.

Durante la ejecución se mantiene como prioridad el tiempo de inicio y tiempo de fin para cada celda de remanejo lixiviado conjuntamente con la capacidad de movimiento de material.

Para la remoción de material lixiviado en estudio se ha considerado el sector número 1 renombrada como C_601_Din8 conteniendo 270,000 toneladas, mostrada en la Figura 14.

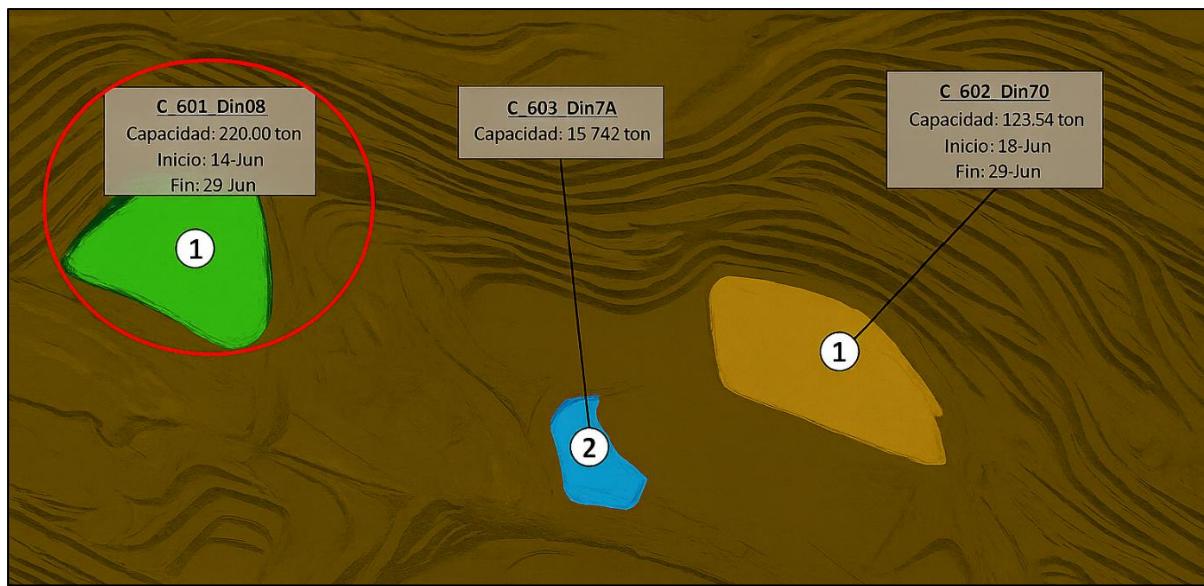


Figura 14. Celdas de remoción con material lixiviado en el pad dinámico

Fuente: Summa Gold - Planeamiento, (2024).

Los trabajos para el remanejo de material lixiviado se realizan en ambos turnos (día y noche), para garantizar el cumplimiento de extracción diaria en los tiempos necesarios para la continua producción. Las zonas de descarga se realizan de acuerdo al plan de ejecución. A continuación, en la Figura 15 se detalla las zonas de descarga con las áreas liberadas para el material de lixiviado, considerando el nivel 3490 como el más óptimo por su mayor capacidad de recepción.

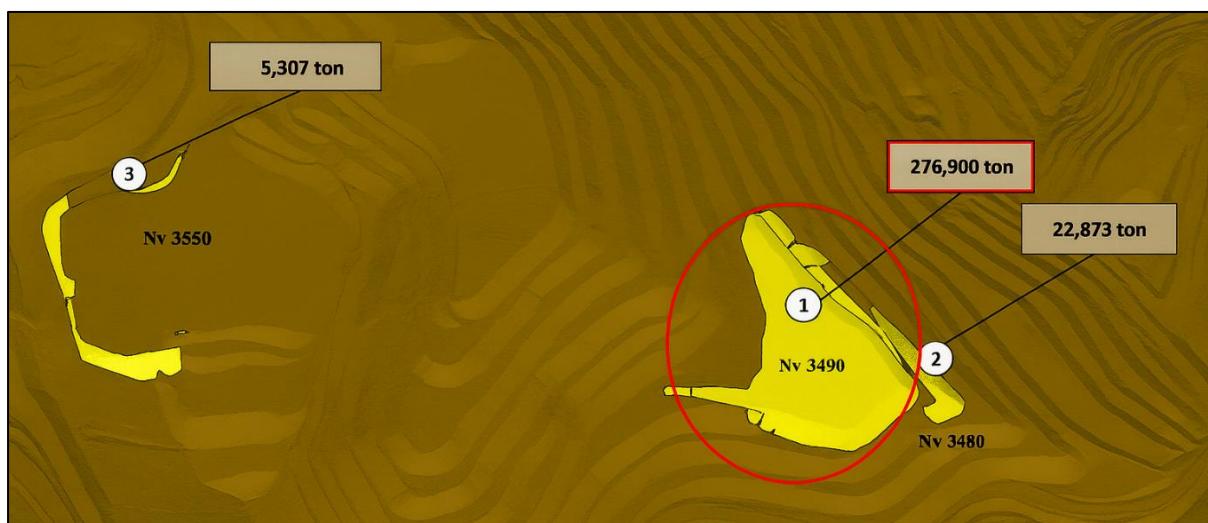


Figura 15. Zonas y capacidades de descarga en el pad estático

Fuente: Summa Gold - Planeamiento, (2024).

3.8.1 Carguío de material lixiviado

El carguío en la celda C_601 se realiza mediante 01 excavadora Volvo EC750E y en ocasiones con 01 cargador Volvo 150_01H para zonas reducidas o poco accesibles para la excavadora, cargando de forma continua a los volquetes en operación. La cantidad de cucharones necesarios para llenar la tolva del volquete son de acuerdo a la capacidad del cucharón de la excavadora y a la carga permisible del volquete. Para aprovechar el rendimiento óptimo de la excavadora, se emplea el carguío a doble carril mostrada en la Figura 16, que consiste en utilizar 02 volquetes para la excavadora, considerando anchos necesarios en la zona de carguío mayor a 32 metros por el largo del volquete con mayor capacidad.



Figura 16. Celda C_601 del pad dinámico N.^o 08

El material de lixiviación debe tener un tamaño máximo de 3" por el índice permisible post voladura del tajo (P80), si el tamaño supera dicha dimensión, se considera como bolonería y antes de enviarlo a las celdas de lixiviación se separan y se acopian para ser fracturados mediante un picotón y posteriormente se cargan a los volquetes.

3.8.2 Acarreo y descarga de material lixiviado

Esta operación se realiza mediante los volquetes volvo 6x4T de 24 m³ en conjunto como se muestra en la Figura 17, las distancias varían de acuerdo según la sectorización del carguío y el avance en la zona de descarga. La descarga de material lixiviado se realiza primero al final del nivel 3490 hasta completar a diseño y paulatinamente se descarga hasta la rampa de ingreso a nivel, cerrando la celda por completo.



Figura 17. Descarga del nivel 3490 en el pad estático

3.8.3 Liberación topográfica y calidad

En los trabajos descritos anteriormente, con el fin de garantizar una ejecución correcta, se realiza la liberación topográfica y la calidad en conjunto con la supervisión de planta y lixiviación; por parte topográfica se verifica la altitud (cotas), anchos de la plataforma de descarga y el área liberada en la zona de carguío para la próxima descarga de mineral extraída del tajo, y por parte de calidad se entregan los formatos llenados con los tiempos correctos de movimiento de material y estabilidad eficaz para próximos diseños operativos como rampas o plataformas de acopio, siendo este proceso repetitivo para cada fase de producción de la mina. Aquí se determina la distancia y volumen total que ha generado cada operación.

3.9 FACTORES QUE INFLUYEN EL CICLO DE ACARREO

Durante el estudio realizado en campo se analizaron demoras operativas con mayor frecuencia durante el acarreo de la flota en la zona de lixiviado con la base de datos de Dispatch.

3.9.1 Mantenimiento de vías

Al realizar el mantenimiento de vías se clausura temporalmente las mismas, lo que genera tiempos de espera de volquetes. La frecuencia de liberación de vía debe ser en el menor tiempo posible por lo que se requiere la óptima disponibilidad de equipos auxiliares por ambas guardias para llevar el control correcto y evitar estos sucesos.

Para identificar las actividades que más influyen en las operaciones durante el estudio del trabajo, se utilizará el principio de Pareto tal y como se muestran en la Figura 18 y 19.

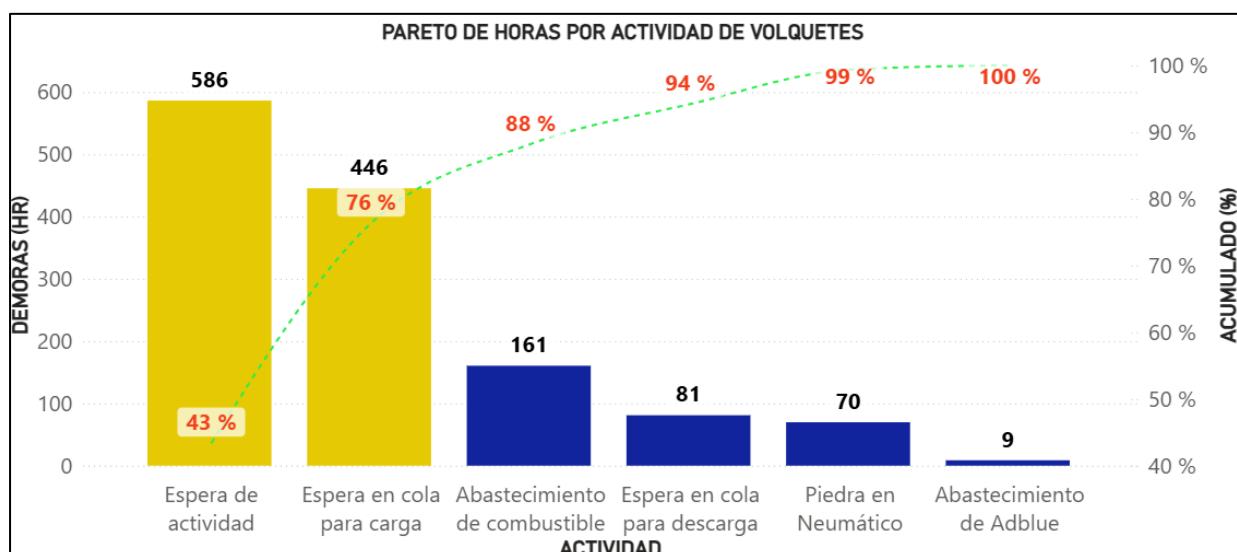


Figura 18. Diagrama de Pareto con las demoras operativas

De acuerdo con la Figura 18 se puede observar que las actividades críticas para los equipos de acarreo como demora operativa es la espera de actividad con 586 horas, esta actividad es el tiempo de stand by que tiene un equipo para iniciar sus funciones durante la operación, y la otra actividad es la espera en cola para cargar con 446 horas, representando ambas actividades un 76 % del tiempo total de demoras, al tener estas 02 actividades comprometidas como demoras conlleva a los equipos a perder la continuidad del ciclo y por ende la falta de volquetes en el frente de carguío.

Los primeros tiempos de espera de actividad y espera en cola para carga, son tiempos que están considerados dentro del ciclo operativo de los volquetes durante la toma de datos en campo, es decir, para hallar las horas operativas (HR) de un equipo de acarreo, es necesario descontar de las 12 horas totales de un turno (HT) por lo tanto: la espera en cola para descarga, el abastecimiento de combustible, piedra en neumático, abastecimiento de Adblue son considerados como ítems dentro de las Demoras (D) y adquiridas en el lapso de 15 días, presentada en la Tabla 11.

Tabla 11. Demoras operativas de los volquetes

Demoras (D)	Tiempo (Hr)
Espera en cola para descarga	161
Abastecimiento de combustible	81
Piedra en neumático	79
Abastecimiento de Adblue	9

Además, se debe tomar en cuenta que el “descanso” es una demora no operativa; ante el estudio se considera como Stand By (SB).

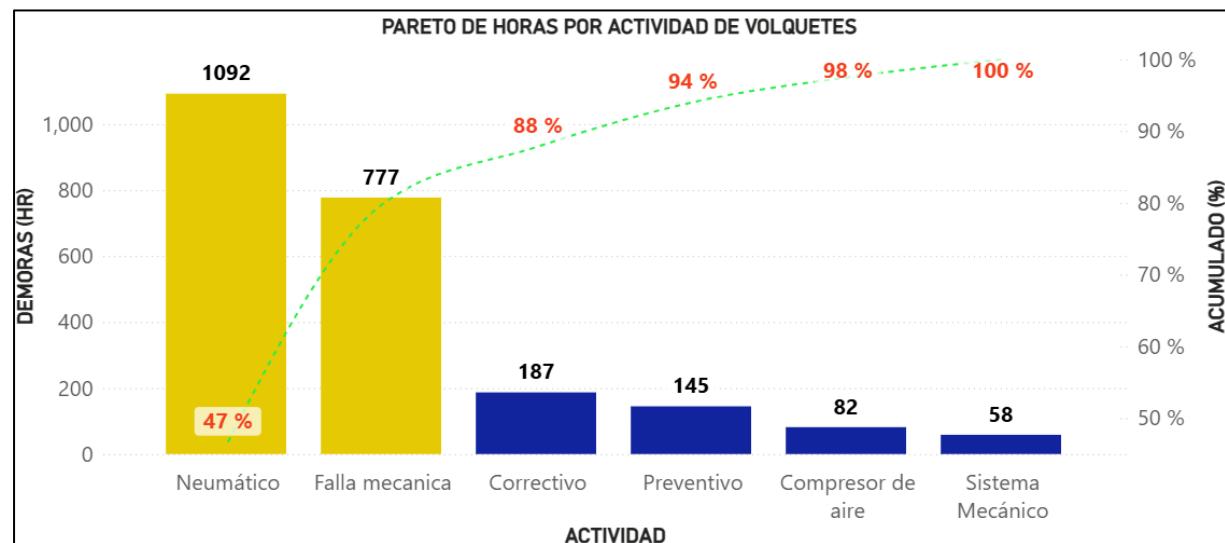


Figura 19. Diagrama de Pareto con las demoras mecánicas

De acuerdo con la Figura 19 se puede observar que las actividades críticas para los equipos de acarreo como demora mecánica es la falla por neumático con 1092 horas, esta actividad está vinculado directamente con la falta de continuidad en el mantenimiento de vías y la escasez de la disponibilidad de equipos auxiliares como motoniveladoras y rodillos, por otra parte, se tiene

a las fallas mecánicas con 777 horas, representando ambas actividades un 80 % del tiempo total de demoras, al tener estas 02 actividades de alto riesgo como demoras implica la paralización forzada de volquetes y el reemplazo primordial de las mismas por lo que se genera tiempos sin volquetes en los puntos de carguío.

Para el análisis en estudio se considera las demoras mecánicas totales vinculadas a las horas de mantenimiento (HM), mostradas en la Tabla 12.

Tabla 12. Demoras mecánicas de los volquetes

Horas Mantenimiento (HM)	Tiempo (Hr)	Tipo
Neumático	1,092	No programado
Falla mecánica	777	No programado
Correctivo	187	Programado
Preventivo	145	Programado
Compresor de aire	82	Programado
Sistema mecánico	58	Programado

3.9.2 Abastecimiento de combustible en horas operativas

Por contar con volquetes por servicios externos como contratistas, los tiempos de abastecimiento por combustible son horas establecidas durante la operación, por lo que se genera tiempos muertos en los puntos de carguío, reduciendo el rendimiento de la excavadora, por esta razón se establece un tiempo promedio de 60 minutos durante la guardia como una demora adicional en el tiempo operativo de producción.

3.9.3 Congestión en la zona de descarga

Se debe a que no se tiene una secuencia constructiva planificada de los límites para completar el nivel en el pad estático, además de no contar con equipos adecuados que empuje el material lixiviado con la flota necesaria para la excavadora, por lo que, ocasiona mucha interacción entre los volquetes y conformación, es por esta razón que se genera colas (Queue) y congestión.

3.9.4 Mantenimiento mecánico de la excavadora

La excavadora tiene un mantenimiento mecánico programado realizada por la contrata, pero cuando el equipo está operando presenta alguna falla mecánica por algún motivo en particular, tendrá que ser intervenido. Aunque esta situación es impredecible, se debería realizar de manera constante el monitoreo, puesto que es el equipo clave en el proyecto.

3.9.5 Velocidad de recorrido de volquetes

Los operadores de los equipos de acarreo en varias ocasiones realizan su trabajo a velocidades diferentes para un mismo tramo en la vía de transporte, esto implica que las unidades de la flota no mantengan una secuencia durante su ciclo.

Cuando los volquetes no tienen un ciclo constante, ciertos volquetes realizan un ciclo en un tiempo mayor a lo establecido y otros en un tiempo menor. En consecuencia, la velocidad se convierte en una causa principal para la generación de tiempos muertos en la operación, es por este motivo que el área de planeamiento maneja una velocidad óptima para el transporte de material lixiviado de 17 Km/Hr conjuntamente sincronizada con Dispatch.

Volquete	Rendimiento (Tn/Hr)	Velocidad (km/hr)
V_1538MA	136.2	21.58
V_1550MA	157.2	20.13
V_1547MA	163.5	19.69
V_1543MA	163.6	19.49
V_1545MA	155.1	19.02
V_1546MA	163.6	19.00
V_1548MA	163.6	18.86
V_1542MA	163.6	18.74
T_1558MA	189.4	16.33
Total	181.6	17.36

Figura 20. Velocidad promedio de volquetes

En la Figura 20 se puede visualizar que la velocidad promedio está acorde o por encima del plan, los volquetes de inicial “V_” son los de 24 m³ de capacidad donde se evidencia las velocidades altas, donde el código con inicial “T_” es el equipo a prueba de 30 m³ de capacidad por lo que su velocidad está por debajo del plan, pero compensa su rendimiento.

3.9.6 Polvo

Por estar en temporada seca durante la investigación, la generación de polvo originado por el rodamiento continuo de los volquetes sobre las vías de transporte toma un papel muy importante (Figura 21). El tránsito de volquetes y el viento propician que el polvo se levante y empiece a expandirse, este suceso es un factor determinante en la visibilidad de los operadores durante el acarreo de material y afectando directamente a la velocidad y posibles enfermedades ocupacionales para el personal.



Figura 21. Registro de polvo en las vías del pad

En este contexto, los equipos auxiliares de control de polvo, como los camiones cisterna de riego, sistemas de supresión en puntos críticos y barreras cortaviento, resultan esenciales para mantener condiciones seguras y eficientes. Su intervención permite minimizar la generación de polvo, preservar la integridad de los equipos de acarreo, y asegurar la continuidad operativa dentro de los estándares de seguridad y medio ambiente establecidos.

3.10 ESTIMACIÓN DE TIEMPO EN EL ACARREO

Los parámetros que intervienen en los volquetes del acarreo son detallados durante la operación, ya que con estos datos se podrá obtener los tiempos que nos permitan el ciclo preciso para el cálculo de la producción máxima y dimensionamiento de la flota óptima.

3.10.1 Parámetros de operación en el acarreo

Es importante cumplir con los parámetros o estándares de operación, ya que nos permitirá condicionar la seguridad operativa, estos lineamientos son los siguientes:

- Toda comunicación deberá darse a través de radios, en la zona de carguío, el operador de la excavadora debe dar el toque de aviso al operador de volquete para la salida del equipo cargado. De la misma manera los operadores de volquetes antes de realizar acciones de estacionamiento.
- Se debe cumplir las velocidades máximas señalizadas en las rutas de acarreo, o se deberá considerar como referencia los 30 Km/Hr; en condiciones climáticas (neblina y/o lluvia) el límite de velocidad como máximo sería de 15 Km/Hr por debajo del estándar.
- En zonas donde se tiene interacción con vehículos livianos, se dará preferencia de paso. En todo momento tendrá preferencia los peatones que interactúen por la vía.
- La pendiente máxima de las rutas de acarreo deberá ser menor al 8%
- Los muros de seguridad deberán mantener una altura promedio de 1.5 a 1.8 metros por toda la vía de acarreo y la plataforma de descarga.
- Las rutas de acarreo deben tener un ancho mínimo de 9.2 metros, incluido bermas y cunetas (vista en sección transversal o frontal)

3.10.2 Velocidad de acarreo

La velocidad es uno de los factores más influyente en los tiempos de recorrido, tanto en la ida como en la vuelta en la ruta hacia el pad estático.

Se determinará que el tiempo de recorrido de cada volquete es variable, puesto que no hay control de las velocidades y tiempos del ciclo por parte de los operadores, lo que generan colas en la zona de carguío y descarga. Además, la variación de estas velocidades se da principalmente a los siguientes factores:

- La pendiente y geometría de la ruta en lixiviado. Se cuenta con una pendiente pronunciada mayor a 8 % en la curva crítica en “U” (Carguío del dinámico N.º 08) lo que obliga a los equipos en parar y reducir la velocidad en la salida a la descarga.
- Estado del volquete (cargado o vacío). Los equipos que presentan ciertas anomalías no recurrente durante la operación favorecen a un indicio de paralizar el equipo y por ende la reducción de velocidad.
- Demoras operativas y externos. Estas demoras se dan por el regado de cisternas de forma continua por las vías al igual que un equipo auxiliar para el mantenimiento de las mismas. Además, por la interferencia ajenas a la operación, eventos de seguridad o trabajos cerca de las vías de acarreo.

El control de las velocidades se realiza a través del taquímetro que viene incorporado en los volquetes, este sistema digital y visual permite al operador verificar la velocidad que desempeña durante la maniobra de su equipo, Por otro lado, el control y monitoreo lo realiza Dispatch, quien emite un reporte de desempeño para todos los equipos de acarreo respecto a su ruta y ciclo durante la operación. En las Tablas 13 y 14 se detalla las velocidades promedio durante el estudio considerando si el equipo se encuentra cargado o vacío.

Tabla 13. Velocidad promedio a través del taquímetro

Estado	Velocidad promedio (Km/Hr)	
	24 m³	30 m³
Cargado	12.62	12.50
Vacio	17.92	17.40
Promedio	15.27	14.95

Tabla 14. Velocidades mínimas y máximas en ruta

Estado		Velocidad promedio (Km/Hr)	
		24 m ³	30 m ³
Cargado	Mínimo	12.42	12.63
	Máximo	26.41	22.73
Vacío	Mínimo	14.18	14.36
	Máximo	31.61	28.91

3.10.3 Distancia de acarreo

De acuerdo a la dinámica de movimiento de material, las distancias van variando de acuerdo al minado del pad dinámico N.^o 08 y la zona de la descarga por los límites, para obtener las distancias se deberá proceder a medir la distancia desde el centroide de la celda C_601 al centroide del nivel 3490 de la descarga.

Tabla 15. Distancia de la ruta en la zona de lixiviación

Vía de acarreo	Punto de carguío	Punto de descarga	Distancia (Km)
Ruta Lix	Celda C_601	Nv. 3490	2.65

3.10.4 Análisis de tiempos

Para encontrar el ciclo de un equipo de acarreo se deberá sumar el tiempo de carguío, de traslado cargado, descarga y traslado vacío durante la operación (Ecuación 1), por lo tanto, se llevará a cabo la toma de tiempos tanto en el turno día como noche respecto a los relevos en guardia.

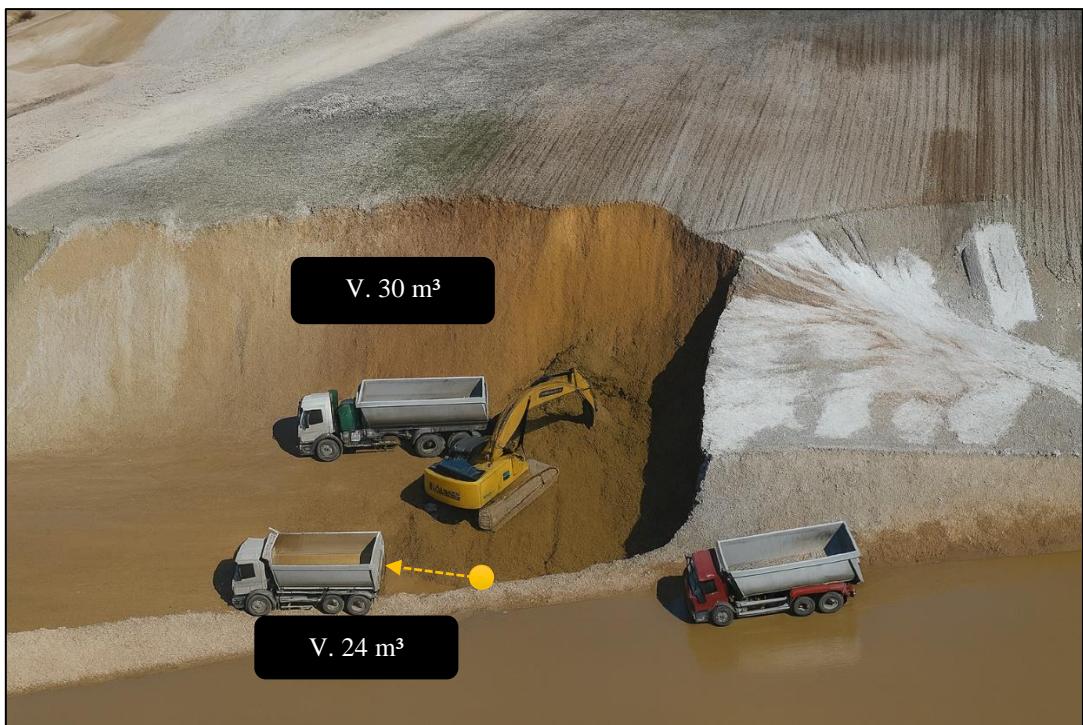


Figura 22. Equipos de acarreo de 24 y 30 metros cúbicos en el carguío

En la Figura 22 se muestra el carguío para los 2 tipos de equipos de acarreo a evaluar, por los tiempos durante el análisis serán tomadas con los mismos factores operacionales.

De acuerdo al control y registro de datos se presentarán los tiempos promedios acumulados en Excel donde se manifiesta un total de 1,498 muestras; el detalle de acuerdo a su ciclo se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Tiempo total del ciclo

Tiempo (Min)	Volquete 24 m ³	Volquete 30 m ³
TC	2.36	2.93
Trcc	10.49	11.40
TD	1.60	2.43
Trsc	8.51	8.52
Ttc	22.96	25.28

3.11 RENDIMIENTOS

Para el análisis correspondiente al rendimiento de los equipos de acarreo se medirá en toneladas movidas en una hora (Ecuación 2), por lo que se considera la cantidad de viajes que realiza en esta unidad de tiempo dependerá de su ciclo y velocidad mencionadas anteriormente; como factores que influyen dentro de esta variable son: la densidad del material en la zona de lixiviado, el factor de esponjamiento por el riego de cianuro y el factor de llenado por tener zonas libres en la tolva después del carguío (Tabla 17).

Tabla 17. Rendimiento de los equipos de acarreo

Parámetros	Volquete 24 m³	Volquete 30 m³
N.º de viajes por hora	2.61	2.53
Densidad (Tn/ m ³)	1.75	1.75
Factor esponjamiento (%)	97	97
Factor de llenado (%)	95	95
Rendimiento (Tn/Hr)	101.14	122.48

3.12 DIMENSIONAMIENTO DE FLOTA DE ACARREO

Con el cálculo del dimensionamiento de flota se determinará el número de volquetes para el equipo de carguío (Ecuación 3); para esto es necesario contar con el rendimiento teórico de la excavadora (Tn/Hr) y los rendimientos obtenidos de los dos volquetes de acarreo en estudio; por lo que al dividir se obtendrá la flota que pueda proporcionar una mayor producción diaria por la cantidad mínima de equipos de acarreo necesario.

Tabla 18. Flota de acarreo óptima

Rendimientos	Volquete 24 m³	Volquete 30 m³
Teórico del carguío (Tn/Hr)	900	900
Calculado del acarreo (Tn/Hr)	101.14	122.48
N.º Volquetes (Ud)	9	7

Al obtener el dato del número de volquetes como muestra la Tabla 18, se debe considerar que al contar con decimales > 0.5 se redondea al número continuo próximo.

3.13 COSTO UNITARIO (C.U)

Se debe considerar las tarifas globales de los equipos en alquiler por Suma Gold para sus operaciones, en la Tabla 19 se detalla los siguientes datos:

Tabla 19. Tarifa de maquinaria por Summa Gold

Equipo	Tarifa (USD/Hr)
Excavadora	185
Rompe bancos	126
Cargador	116
Motoniveladora	86
Tractor	85
Volquete	50

Fuente: Summa Gold - Oficina de Productividad, (2023).

Al prever que Summa Gold trabaja con equipos de acarreo alquilados, se considerará una tarifa inicial el cual es el costo horario del alquiler cubriendo el gasto del volquete de 24 m³; y por otra parte se evaluará con una tarifa mayor a la inicial para el equipo de 30 m³, identificándose en la Tabla 20; al dividir estos datos se obtendrá el costo unitario por tonelada movida.

Tabla 20. Estimación del costo unitario

Factores	Volquete 24 m ³	Volquete 30 m ³
Tarifa (USD/Hr)	50	55
Rendimiento acarreo (Tn/Hr)	101.14	122.48
Costo Unitario (USD/Tn)	0.49	0.45

Teniendo elevado la tarifa para el volquete de 30 m³, se visualiza que sigue siendo óptimo su alquiler por tener un costo unitario por debajo del volquete de 24 m³, ante la proyección y aprobación se decidirá realizar un análisis de sensibilidad donde se pueda identificar la tarifa máxima para su aproximación al costo unitario del volquete de menor capacidad (Tabla 21).

Tabla 21. Determinación máxima de tarifa para el volquete de 30 m³

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	
Tarifa (USD/Hr)	C.U (USD/Tn)
50	0.40
51	0.41
52	0.42
53	0.43
54	0.44
55	0.45
56	0.46
57	0.46
58	0.47
59	0.48
60	0.49
61	0.50
62	0.51

Como tarifa determinante se deberá de mantener como máximo entre 60 USD/Hr para el alquiler de este equipo de acarreo; y ante un promedio singular considerar 55 USD/Hr formulando menor costo al mover una tonelada de material lixiviado.

3.14 TIEMPO OPERATIVO DURANTE UNA GUARDIA

3.14.1 Horas totales

Las actividades están hechas por dos guardias (turno día y turno noche), establecidos como un tiempo total de 24 horas, se deberá descontar las horas identificadas por medio de los diagramas de Pareto, las cuales son demoras operativas y mecánicas (Figura 18 y 19) según el comportamiento de los volquetes en operación.

3.14.2 Horas mantenimiento (HM)

a) Horas mantenimiento programado (Hp)

- Se considerará como número total de volquetes a 110 unidades que operan en la unidad minera El Toro; tanto en las áreas de mina, lixiviación y proyectos.
- El abastecimiento de combustible se establecerá una hora fija dentro de cada guardia para todos los volquetes de cualquier contrata.
- Las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo, compresor de aire y sistema mecánico se considerarán dentro de este ítem (Anexo N.º 1), mostradas en la Tabla 22.

Tabla 22. Tiempos de mantenimiento programado (Hp)

Actividad	Tiempo total (Hr)	Tiempo por guardia (Min)
Abastecimiento combustible	1	60
Mantenimiento preventivo	145	2.63
Mantenimiento correctivo	187	3.40
Compresor de aire	82	1.49
Sistema mecánico	58	1.05
Total	-	68.58

En la Figura 23 se muestra el porcentaje de tiempos durante el mantenimiento programado, donde una de las actividades con mayor fluctuación es el abastecimiento de combustible con 87 % de área sectorizada.

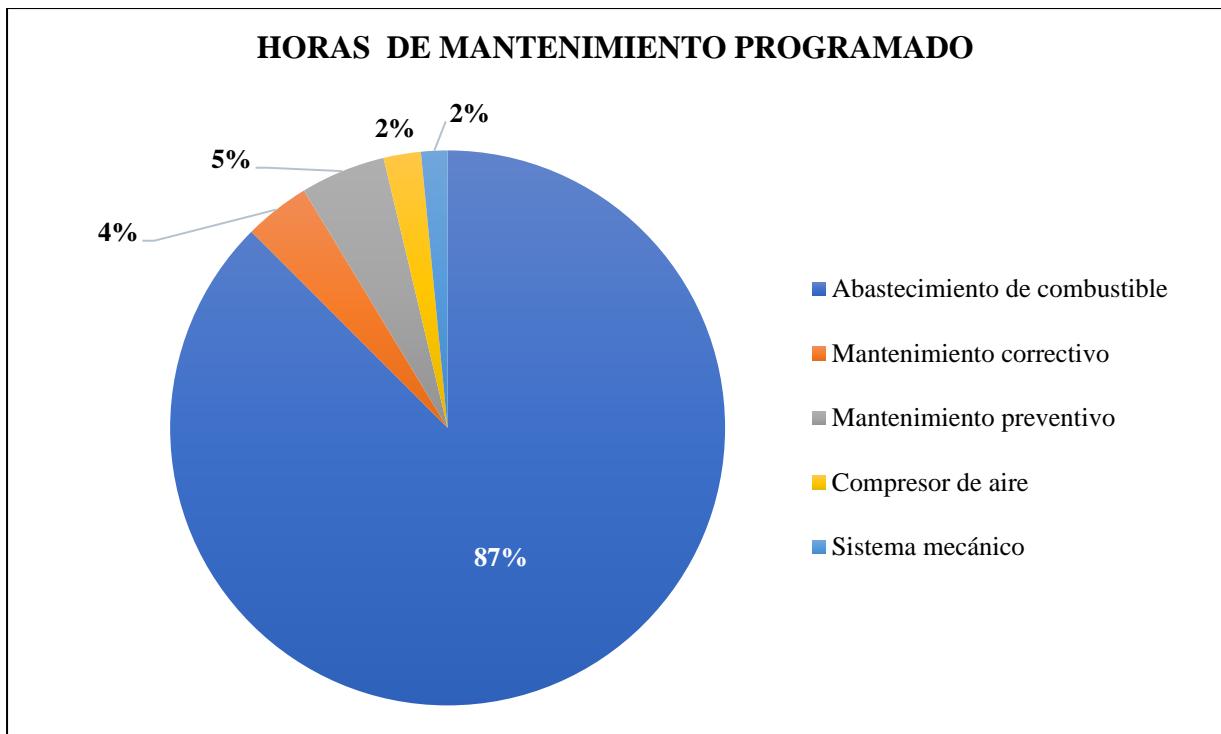


Figura 23. Porcentajes de tiempos con mantenimiento programado

b) Horas Mantenimiento no programado (Hnp)

- Se considerará como número total de volquetes a 110 unidades que operan en la unidad minera El Toro; tanto en las áreas de mina, lixiviación y proyectos.
- Entre las actividades más relevantes se tendrá en cuenta a la falla de neumático y falla mecánica (Anexo N.º 2).

Tabla 23. Tiempo de mantenimiento no programado (Hnp)

Actividad	Tiempo total (Hr)	Tiempo por guardia (Min)
Falla de neumático	1,092	19.85
Falla mecánica	777	14.13
Total	-	33.98

En la Figura 24 se muestra el porcentaje de tiempos durante el mantenimiento no programado, donde una de las actividades con mayor fluctuación es la falla por neumático con 58 % de área sectorizada.

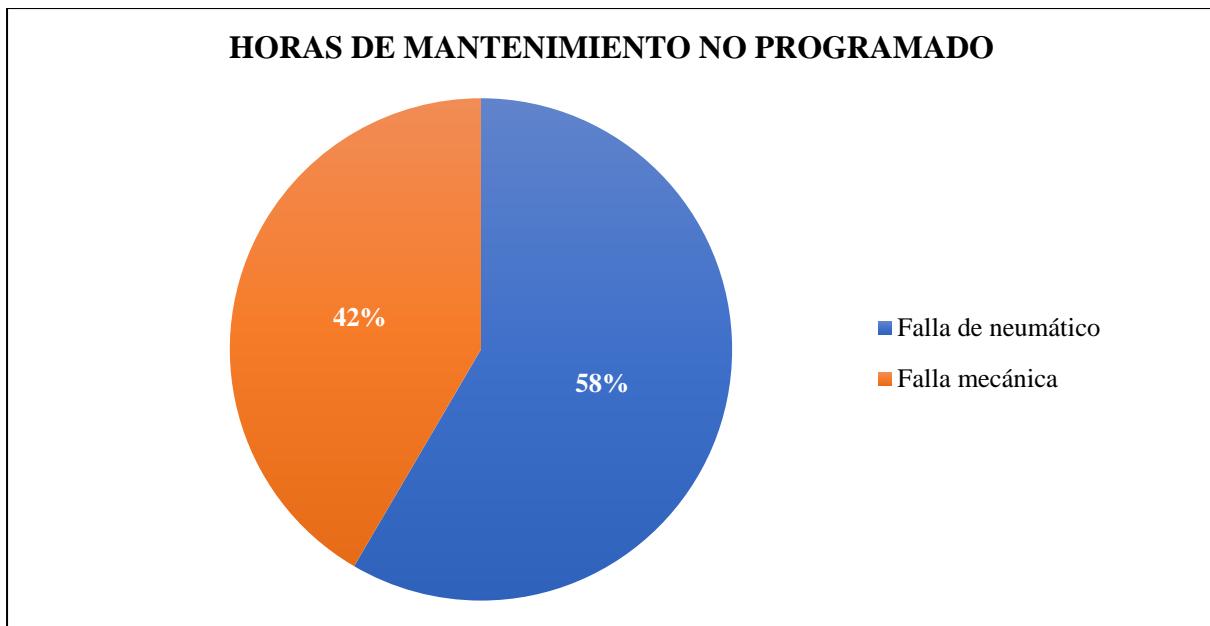


Figura 24. Porcentajes de tiempos con mantenimiento no programado

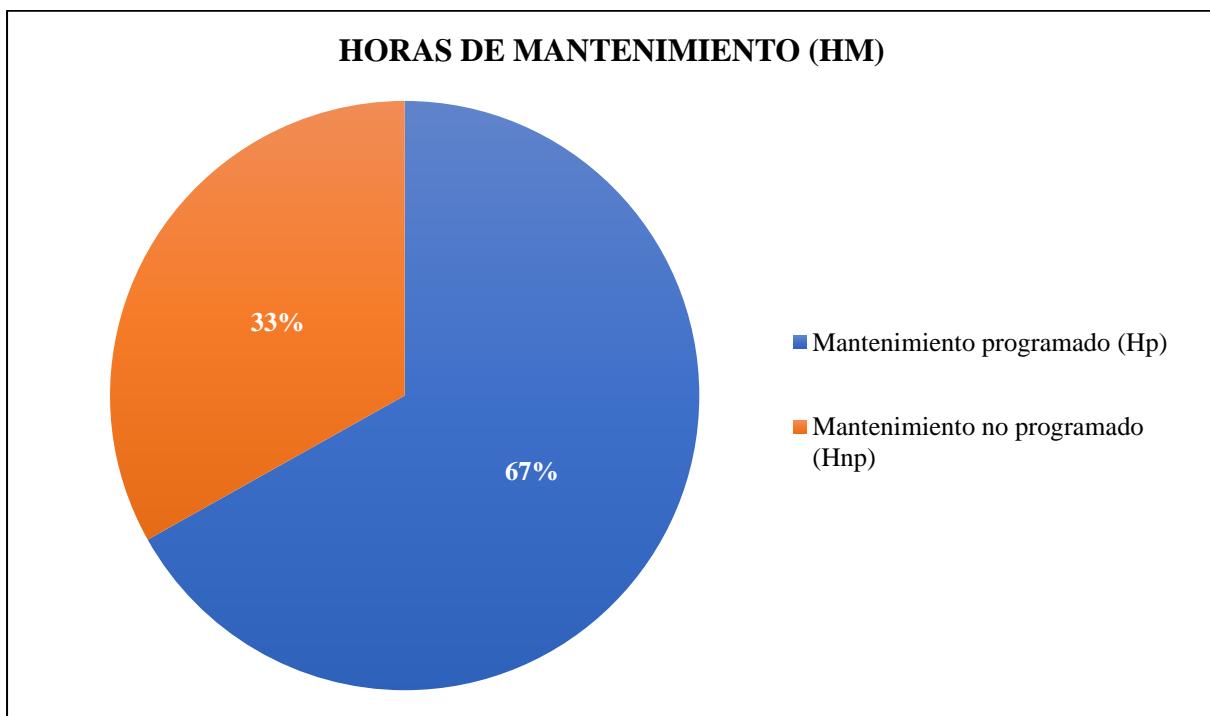


Figura 25. Resumen porcentual de horas de mantenimiento (HM)

De acuerdo al registro gráfico circular en la Figura 25, se deduciría que:

El tiempo total de horas mantenimiento (HM) por guardia es de 1.71 horas o 1 hora con 43 minutos aproximadamente, por lo que se podría obtener el tiempo de disponibilidad (HD) restando las 12 horas totales (HT) y obteniendo como resultado 10.29 horas electivas hasta el momento (Anexo N.^o 3).

3.14.3 Horas disponibles (HD)

a) Demoras (D)

Para determinar las horas representativas de demoras, se debe considerar dos actividades fundamentales: Espera en cola para carga y espera en cola para descarga, este tiempo total de espera se debe extraer los tiempos de carguío y descargas totales registradas en la base por Dispatch para volquetes de 24 m^3 y 30 m^3 ; además se considerará como número total de volquetes a 110 unidades en el análisis de información (Anexo N.^o 4). A continuación, se muestra los siguientes datos:

Tabla 24. Registro de demoras (D)

Demoras	Tiempo total (Hr)	Tiempo por guardia (Min)
Espera en cola para carga	446	8.11
Espera en cola para descarga	81	1.47
Carguío total de 24 m^3	40.21	0.73
Descarga total de 24 m^3	25.06	0.46
Carguío total de 30 m^3	47.30	0.86
Descarga total de 30 m^3	53.47	0.97
Total	-	6.56

b) Disponibilidad sin producción (Stand By)

Para el cálculo de tiempos en Stand By se almacena el tiempo en horas basado en la actividad de espera y el tiempo no operativo que es la hora de descanso; por lo tanto; al obtener el cálculo de tiempo descontable se estaría considerando ambos tiempos acumulativos (Anexo N.^o 5).

Tabla 25. Tiempo de Stand By acumulativo

Factor	Tiempo total (Hr)	Tiempo por guardia (Min)
Espera en actividad	586	10.65

Basado en los resultados de las Tablas 24 y 25, se deduce lo siguiente: El tiempo disponible (D) llega a fraccionarse extrayendo y reduciendo los tiempos de demoras (D) y Stand By (SB) en conjunto teniendo como dato un total de 0.28 horas durante la guardia; al determinar este tiempo se emplearía finalmente para el cálculo de las horas operativas.

3.14.4 Horas operativas (HR)

A partir de los datos registrados en las horas disponibles (HD), se procedería a sustraer el tiempo acumulativo mencionado anteriormente (Anexo N.^o 6), por lo que, se tendría como dato final la siguiente Tabla 26.

Tabla 26. Horas operativas durante una guardia (HR)

Condición	Tiempo (Hr)
Operativo	10.01

Como diagrama de anillos representativo para las horas totales se mostrará la Figura 26 donde se evidencia un sector del 83 % como horas operativas considerándose como las más efectivas para el análisis de costo –volumen – beneficio, y por otro lado sectorizado a un 17 % como tiempos improductivos durante la operación, en vista de que son factores condicionantes.

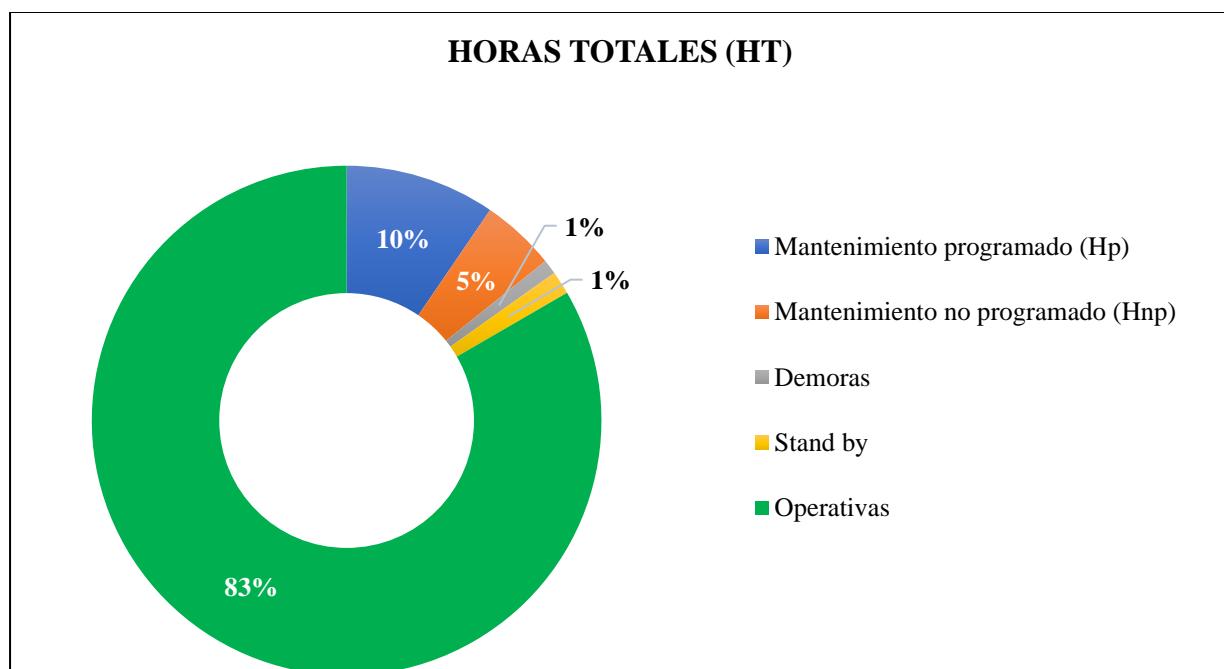


Figura 26. Distribución de horas totales (HT)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN DE COSTO - VOLUMEN - BENEFICIO (CVB)

A partir de los resultados previstos, se consideró que para una guardia la producción deberá ser el rendimiento de la excavadora Volvo EC750E representada como 900 Tn/H por la cantidad de horas operativas 10.01 horas (Ecuación 4) siendo 9,009 Tn como su estandarización; así mismo la evaluación del costo – beneficio se basa en la cantidad de volquetes según el dimensionamiento por la tarifa para cada equipo y la cantidad de horas operativas obteniendo los costos por cada ítem mostrado, por lo tanto, el beneficio sería la sustracción del costo del volquete de 24 m³ menos el volquete de 30 m³ como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27. Evaluación económica de los volquetes de 24 y 30 m³ en una guardia

Ítems	Volquete 24 m ³	Volquete 30 m ³
Producción (Tn)	9,009	9,009
Horas operativas (Hr)	10.01	10.01
N.º de volquetes (Ud)	9	7
Tarifa (USD/Hr)	50	55
Costo (USD)	4,504.50	3,853.85
Beneficio (USD)		650.65

Manteniendo el margen de estudio como guardia se proyectaría que durante los 15 días de evaluación y operando en turno día como noche, se llegó a cumplir el plan de ejecución por planeamiento en el transporte de material lixiviado de 270,000 toneladas aun reduciendo el último día en 18 minutos antes del plazo establecido; además que si se considera la flota de 30 m³ se tiene un beneficio de 19,520 dólares como ahorro representando un 16.9 % de reducción en el costo operativo al comparar con un volquete de 24 m³.

Según Arias (2021) indica que, la clave para permanecer la producción horaria respecto al carguío, es directamente influenciada en las demoras operativas durante el ciclo de acarreo, ya que al establecer parámetros para cada actividad durante la operación, permitiría llevar una

producción estable tanto en el inicio como el fin de la guardia ahorrando en este caso 26,000 dólares al mes, llegando a concordar sobre el tiempo de abastecimiento como demora para los equipos de acarreo, por lo tanto, al realizar el estudio económico para el reemplazo de los equipos, el tiempo establecido es de 10.01 horas operativas tanto para la excavadora y los volquetes durante una guardia; puesto que la empresa cuenta con contratas, y el pago es directamente por alquiler horario.

Por otro lado, Teran y Cortez (2021), al realizar el análisis de selección y reemplazo de equipos de acarreo por volquetes con tracción 8x4 llega a reducir en 4 unidades, el cual representa 5,872.7 dólares por flota en mantenimiento y 484.84 dólares por flota en reparaciones simbólicamente refleja un ahorro al utilizar equipos más versátiles y rígidos para la operación, en el caso de análisis se empleó un equipo de 8x4 Rígido, permitiendo la adaptación de un semirremolque con capacidad de 30 m³, al ser un circuito de acarreo de material lixiviado con pocas pendientes pronunciada llega a ser favorable solamente para esta área y cumpliendo directamente con la producción, reduciendo 2 volquetes de 24 m³ puesto que ante un análisis monetario en mantenimiento y reparaciones se descartan totalmente, ya que la nueva ejecución de acarreo sería con distinto equipo.

4.2 CICLOS Y RENDIMIENTOS

En la Tabla 28 se muestra los ciclos de acarreo respecto a la excavadora Volvo EC750E considerando un total de 785 ciclos para el volquete de 24 m³ durante los 15 día de prueba y 713 ciclos para el volquete de 30 m³ en el mismo lapso de tiempo; se llegó a obtener que los datos son significativamente diferentes, puesto que el volquete de 30 m³ es mucho más lento en 2.32 minutos de diferencia que el volquete de 24 m³, teniendo en cuenta una distancia de 2.65 Km y una velocidad promedio de 14.95 Km/Hr, el cual representa un 2.14 % por debajo del de 24 m³.

Tabla 28. Tiempo por ciclo de acarreo

Equipos de prueba	Periodo (Días)	Ciclos	Tiempo promedio (Min)
Volquete 24 m³	15	785	22.96 (± 0.18) A
Volquete 30 m³	15	713	25.28 (± 0.13) B

Letras diferentes indica diferencia significativa entre tratamientos. Grado de confianza del 95 % P < 0.05

Por consiguiente, para el rendimiento de los equipos se estimó la cantidad de ciclos por una hora operativa, además de considerar parámetros esenciales como: su factor de esponjamiento, factor de carga y la densidad del material lixiviado mencionada anteriormente (Tabla 17). Por lo tanto, al tener presente los datos requeridos se llegó alcanzar los resultados mostrados en la Table 29.

Tabla 29. Rendimiento horario

Equipos de prueba	N.º de ciclos en una hora	Tonelaje (Tn)	Rendimiento (Tn/Hr)
Volquete 24 m³	2.61	38.70	101.14 A
Volquete 30 m³	2.53	48.37	122.48 B

Letras diferentes indica diferencia significativa entre tratamientos. Grado de confianza del 95 % P < 0.05

Considerando Areteaga (2022) nos muestra que para obtener un rendimiento efectivo es necesario llevar a cabo los ciclos correctos para el carguío y acarreo, determinando las toneladas movidas ya sea material de desmonte o de mineral, por lo que al mantener una cantidad de pases correcto se llega a una producción similar a la teórica con volquetes de 24.43 toneladas; ante nuestro análisis la producción del volquete de 30 m³ es 21.34 toneladas mayor al volquete de 24 m³ en una hora operativa respecto a su ciclo.

4.3 DIMENSIONAMIENTO Y COSTO UNITARIO

Para lograr el dimensionamiento correcto se consideró el rendimiento teórico de la excavadora Volvo EC750E el cual es de 900 Tn/Hr, teniendo en cuenta que la cantidad de volquetes o dimensionamiento se realizó en una hora operativa, además el resultado final se definió en que si el decimal es mayor a 0.5 se redondea a un número entero consiguiente, si no es el caso, sería el número entero que contenga el decimal, como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30. Dimensionamiento de volquetes en una hora de operación

Equipos de prueba	Rendimiento excavadora (Tn/Hr)	Rendimiento volquete (Tn/Hr)	Dimensionamiento (Ud)
Volquete 24 m³	900	101.14	9 A
Volquete 30 m³	900	122.48	7 B

Letras diferentes indica diferencia significativa entre tratamientos. Grado de confianza del 95 % P < 0.05

En base a la tarifa propuesta por la empresa, se estimó el costo unitario, detallando que el volquete de 24 m³ es de 50 USD y para el de 30 m³ es de 55 USD por una hora trabajada; al llevar este estándar se determinó que el costo del volquete de 30 m³ es 0.04 USD menor que el de 24 m³ al mover una tonelada; además de que al aumentar la tarifa hasta 60 USD se estaría pagando muy similar al costo operativo de un volquete de 24 m³ siendo el pago máximo para el de 30 m³.

Tabla 31. Costo por tonelada movida en una hora de operación

Equipos de prueba	Tarifa (USD/Hr)	Rendimiento volquete (Tn/Hr)	Costo unitario (USD/Tn)
Volquete 24 m³	50	101.14	0.49 A
Volquete 30 m³	55	122.48	0.45 B

Letras diferentes indica diferencia significativa entre tratamientos. Grado de confianza del 95 % P < 0.05

Respecto a la Tabla 31 se determinó que el volquete de 30 m^3 es 8.89 % menor al costo operativo del volquete de 24 m^3 al remover una tonelada de material lixiviado, por lo que en definición al reemplazar los equipos por el de mayor capacidad es favorable, ya que mueve mayor cantidad de tonelaje a menor costo tal y como se muestra en la Figura 27.

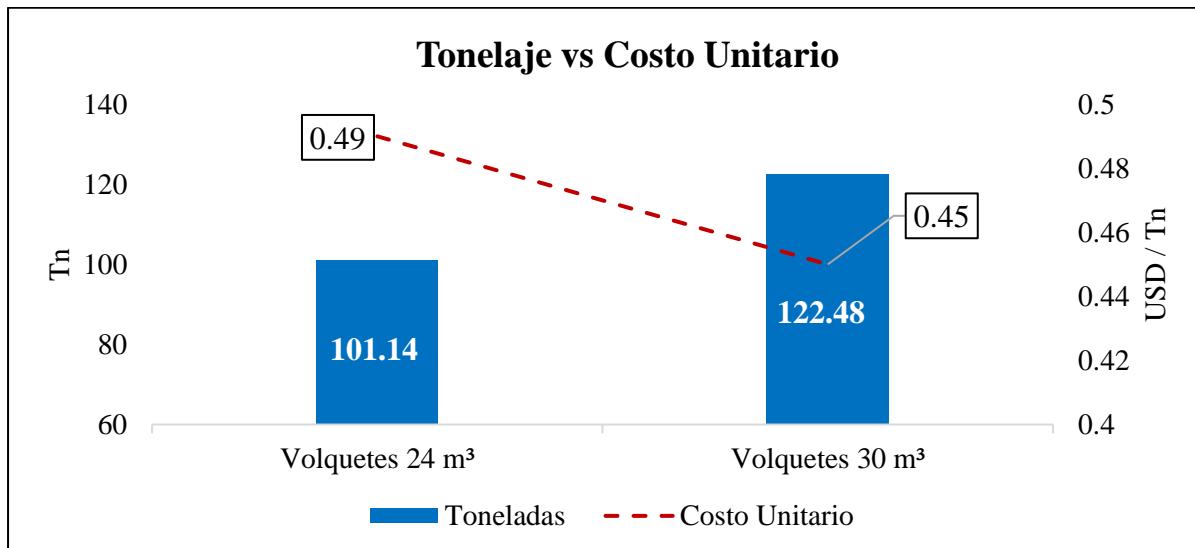


Figura 27. Comparación de toneladas movidas vs su costo operativo en una hora trabajada

Según la calificación de Rojas (2020) para el incremento de productividad es necesario optimizar el factor de carga para los equipos de acarreo, donde al realizar el estudio aumenta en un 3.6 % el rendimiento de los equipos de carguío y disminuyendo en 1.69 su flota de acarreo, es decir 2 equipos menos para la producción; por lo que al realizar nuestro dimensionamiento con equipos de 30 m^3 o de mayor capacidad se demuestra la veracidad por parte de la investigación, ya que al identificar 2 volquetes menos para la excavadora permitió reducir los gastos operativos.

De acuerdo a Chávez (2023), demuestra que el factor de acoplamiento o dimensionamiento óptimo es de 10 y 16 volquetes dependiendo del destino de material, reduciendo sus costos unitarios en un 31 % o 0.25 USD/ m^3 , aumentando la producción de acarreo en 32 % y reduciendo en un 24 % a la flota actual, se concuerda con los resultados de la investigación ya que se ha reducido la flota en un 28.5 % de la flota actual con mayor producción horaria a menor costo durante una hora operativa.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El volquete de 30 m³ para el transporte de material lixiviado en la unidad minera El Toro – Huamachuco – La Libertad ya que se proyectaría un ahorro de 19,520 dólares con operación continua en ambos turnos durante 15 días, además de cumplir el plazo según el área de planeamiento para la remoción de material de 270,000 toneladas en este lapso de tiempo.

El ciclo del volquete de 30 m³ es de 25.28 minutos con una velocidad promedio de 14.95 Km/Hr y el volquete de 24 m³ es de 22.96 minutos con una velocidad promedio de 15.27 Km/Hr con una distancia de 2.65 Km. Por otro lado, el rendimiento del volquete con capacidad de 30 m³ es de 122.48 Tn/Hr y el volquete de 24 m³ es de 101.14 Tn/Hr, los que indica que a pesar de la baja velocidad el tonelaje representa la mayor efectividad.

El dimensionamiento óptimo respecto a la excavadora Volvo EC750E para el volquete de 30 m³ es de 7 unidades, y para el volquete de 24 m³ es de 9 unidades; reduciendo considerablemente la flota en el área de lixiviado; además se demostró que el costo unitario para el volquete de 30 m³ es de 0.45 USD/Tn y el de 24 m³ es de 0.49 USD/Tn demostrando que el volquete de mayor capacidad produce más material a menor costo y que su tarifa estable de pago es de 55 USD por hora trabajada.

5.2 RECOMENDACIONES

Para el riego de vías en el área de lixiviado se sugiere realizarlo de forma intermitente o bandera, ya que si se realiza un riego continuo provocaría la reducción de la velocidad de los volquetes de 30 m³ y posiblemente la paralización de la flota por el posible estancamiento de los neumáticos ante la tracción con el suelo.

Un taller de neumáticos dentro de la unidad minera ya que los volquetes de 30 m³ por tener una tolva mucho más larga tienden a tener un total de 22 llantas, es decir 10 llantas más que las de 24 m³ por lo tanto se estimaría más tiempos de fallas por neumático.

Rediseño topográfico para las vías principales de lixiviado ya que para el inicio de extracción de material lixiviado no se tiene el ancho operativo suficiente para el giro o posicionamiento de los volquetes de 30 m³ por lo que provocaría más demoras durante el estacionamiento y por ende afectando al ciclo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anes, B. (2024). Una Introducción al Análisis de Costo Volumen Beneficio. Morpher, Madrid.
- Aranibar, J. (2002). Criterios de selección de equipos. Ica: Quinto congreso nacional de minería.
- Arias, E. (2021). Eficacia del sistema dispatch en reducción de demoras e influencia en la productividad (acarreo) en inicios de turno - UM Pucamarca 2021. Trujillo.
- Arteag, M. (2020). Evaluación técnica enconómica con el sistema de transporte y acarreo de talco para la reducción de costos en la UEA Jesús Poderoso N.º 08 de Compañía Minera Agregados Calcáreos S.A [Tesis de Titulación, Universidad Continental]. Repositorio Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8458>
- Barranco, L. (2017). Optimización de los ciclos de cargue, transporte y descargue de caliza y mezclas (limolitas, chert, margas) en la planta de cementos Argos, Toluviejo - Sucre [Tesis de Titulación, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. Repositorio UPTC. Obtenido de <https://n9.cl/8tlrd>
- Berrick. (2004). Manual de Operaciones Alto Chicama. Maquinarias Pesadas, 35.
- Castrejon, E. (2022). Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de topsoil para aumentar la producción en la empresa Collotan S.A.A. Referencia Institucional.
- Charles T., Srikant M., y Madhav V. (2012). Contabilidad de costos - Un enfoque gerencial. México: Pearson Educación.
- Chávez, K. (2023). Análisis de la productividad y la utilización de equipos en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022. Repositorio Institucional.
- Cruzat, G. (2008). Manual de Carguío y Transporte. Universidad de la Serena. Cochimbo, Chile, 1-280. doi:<https://n9.cl/hv36cz>
- Diccionario Vial. (10 de Mayo de 2024). tuteorica.com. Obtenido de tuteorica.com: <https://tuteorica.com/diccionario-vial/semirremolque/>
- García, J., Lopez, J., y Lopez, J. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación.
- González, P. (2014). Eficiencia en el transporte en minería a cielo abierto. Aplicación de una cantera de caliza. Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- Jofré, E. (2020). Plan de incremento de productividad de camiones de extracción y palas eléctricas en operación minera. Santiago de Chile.
- León, G. (2017). Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Minería. Universidad Nacional de Ingeniería, Huancayo.

- Malimba, A. (2019). Cálculo de flota de carguío y transporte para optimizar la producción dariaaria en el tajo Ciénaga Norte - Coimolache. Repositorio Institucional.
- Marín, L. (2007). Aglomerado y curado en el proceso de lixiviación de minerales. Metsolver, Chile.
- Minería. (2024). Ingenieria de Minas. Obtenido de Ingenieria de Minas: <https://ingenieriademinas.info/mineria/>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2009). Manual de formación preventiva para el desempeño del puesto de operador de maquinaria de transporte, camión y volquete, en actividades extractivas de exterior. Laboratorio Oficial J.M Madariaga, 314.
- Muñoz, J. (2024). Modelo de planificación corto plazo para optimizar flota de carguío y transporte. Santiago de Chile.
- Navarrete, M. (2023). Gestión de flota en minería - análisis de su impacto. Escuela de altos estudios - CAMIPER, 1.
- Ortiz C. (2010). Apuntes de Curso de Explotación de Minas. Universidad de Chile, Chile.
- Peña, D. (2019). Análisis para la selección y reemplazo de volquetes de 25 m³ de capacidad para la optimización del acarreo y transporte en la operación minera - Mina Los Andes Peru Gold - Huamachuco [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://n9.cl/9469a>
- Poxleitner, G. (2019). Estimación de costos operacionales para minas. SRK Consulting 50, 43.
- Preciado, J., y Luna, L. (2017). Diseño y aplicación de un modelo económico para la toma de decisiones en reemplazo de equipos de acarreo en una mina a cielo abierto. ECORFAN, 5.
- Rodríguez, F. (2019). Gestión del transporte y acarreo de mineral y desmonte en mina Cuajone de Southern Peru Copper Corporation. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Rondan, E. (2014). Producción real vs producción potencial de equipos de carguío y acarreo y aplicación del match factor para determinar el número óptimo de volquetes Mina Arasi. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- 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. Cajamarca.
- Saldaña, A. (2013). Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaqueocha bajo clima severo - Minera Yanacocha [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://n9.cl/61he6>

Santiago, E. (2012). Dimensionamiento óptimo de flota de equipos para proyectos de movimiento de tierras. Universidad Nacional de Piura, 7.

SENAMHI. (2024). Senhami. Obtenido de Senhami:
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

Summa Gold Corporation. (2021). Áreas de planeamiento y productividad. Huamachuco.

Teran, G., y Rojas, W. (2021). Análisis para la selección y reemplazo de equipos de acarreo para mejorar la producción en una empresa minera de la Libertad 2021. Repositorio Institucional.

Tiktin, J. (1997). Movimiento de Tierras. Procedimientos Generales de Construcción. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.

Wasson, C. (2013). Maximice la Movilidad en el Área de Lixiviación en Pilas. 32.

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Horas de mantenimiento programado (Hp).....	66
Anexo 2. Horas de mantenimiento no programado (Hnp).....	66
Anexo 3. Horas disponibles (HD).....	66
Anexo 4. Demoras (D).....	67
Anexo 5. Stand By (SB).....	67
Anexo 6. Horas operativas (HR).....	67
Anexo 7. Campana de Gauss o distribución normal para volquete de 30 m ³	68
Anexo 8. Prueba de Normalidad para volquete de 30 m ³	68
Anexo 9. Campana de Gauss o distribución normal para volquete de 24 m ³	69
Anexo 10. Prueba de Normalidad para volquete de 24 m ³	69
Anexo 11. Prueba de T – Student para el ciclo.....	70
Anexo 12. Prueba de T – Student para el rendimiento	70
Anexo 13. Prueba de T – Student para el costo unitario.....	71
Anexo 14. Intervalo de confianza (X) para volquete de 30 m ³	71
Anexo 15. Intervalo de confianza (X) para volquete de 24 m ³	71
Anexo 16. Registro de datos por ciclo	72

Anexo 1.
Horas de mantenimiento programado (Hp)

$$Hp_{Guardia} = \frac{\text{Tiempo Total (Hr)}}{\# \text{ volquetes} * \# \text{días} * \# \text{ guardias por día}} * 60$$

$$Hp_{Guardia} = \left(\frac{472}{110 * 15 * 2} * 60 \right) + 60$$

$$Hp_{Guardia} = 68.58 \text{ Min}$$

Anexo 2.
Horas de mantenimiento no programado (Hnp)

$$Hnp_{Guardia} = \frac{\text{Tiempo Total (Hr)}}{\# \text{ volquetes} * \# \text{días} * \# \text{ guardias por día}} * 60$$

$$Hnp_{Guardia} = \left(\frac{1,869}{110 * 15 * 2} * 60 \right)$$

$$Hnp_{Guardia} = 33.98 \text{ Min}$$

Anexo 3.
Horas disponibles (HD)

$$\mathbf{HD = HT - HM}$$

$$HD = 12 - \frac{(33.98 + 68.58)}{60}$$

$$HD = 10.29 \text{ Hr}$$

Anexo 4.
Demoras (D)

$$D = \frac{(\text{Tiempo espera}_{\text{carga+descarga}} - \text{Tiempo}_{\text{carga+descarga}})}{\# \text{ volquetes} * \# \text{dias} * \# \text{guardias por d\'ia}} * 60$$

$$D = \frac{(446 + 81) - (40.21 + 25.06 + 47.30 + 53.47)}{110 * 15 * 2} * 60$$

$$D = 6.56 \text{ Min } \approx 0.11 \text{ Hr}$$

Anexo 5
Stand By (SB)

$$\text{SB} = \frac{\text{Tiempo Total (Hr)}}{\# \text{ volquetes} * \# \text{dias} * \# \text{guardias por d\'ia}}$$

$$SB = \frac{586}{110 * 15 * 2}$$

$$SB = 0.18 \text{ Hr}$$

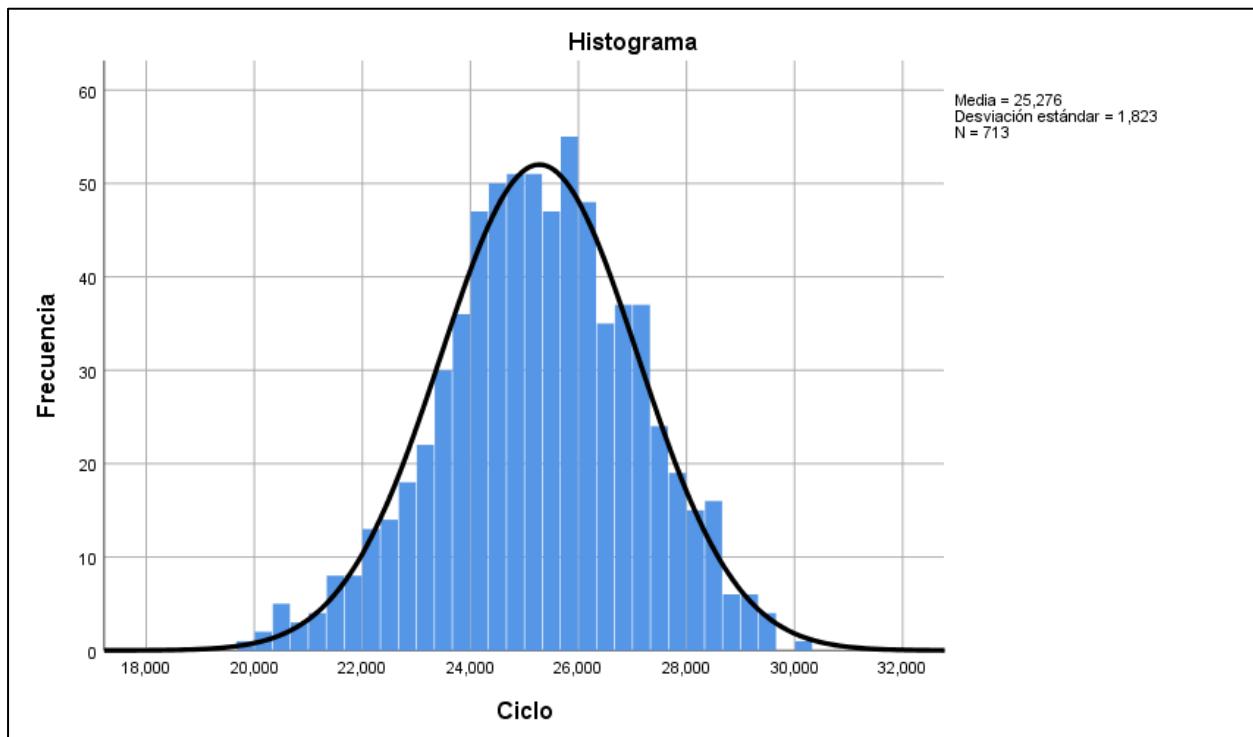
Anexo 6.
Horas operativas (HR)

$$\text{HR} = \text{HD} - \text{SB} - \text{D}$$

$$HR = 10.29 - 0.18 - 0.11$$

$$HR = 10.01 \text{ Hr}$$

Anexo 7.
Campana de Gauss o distribución normal para volquete de 30 m³



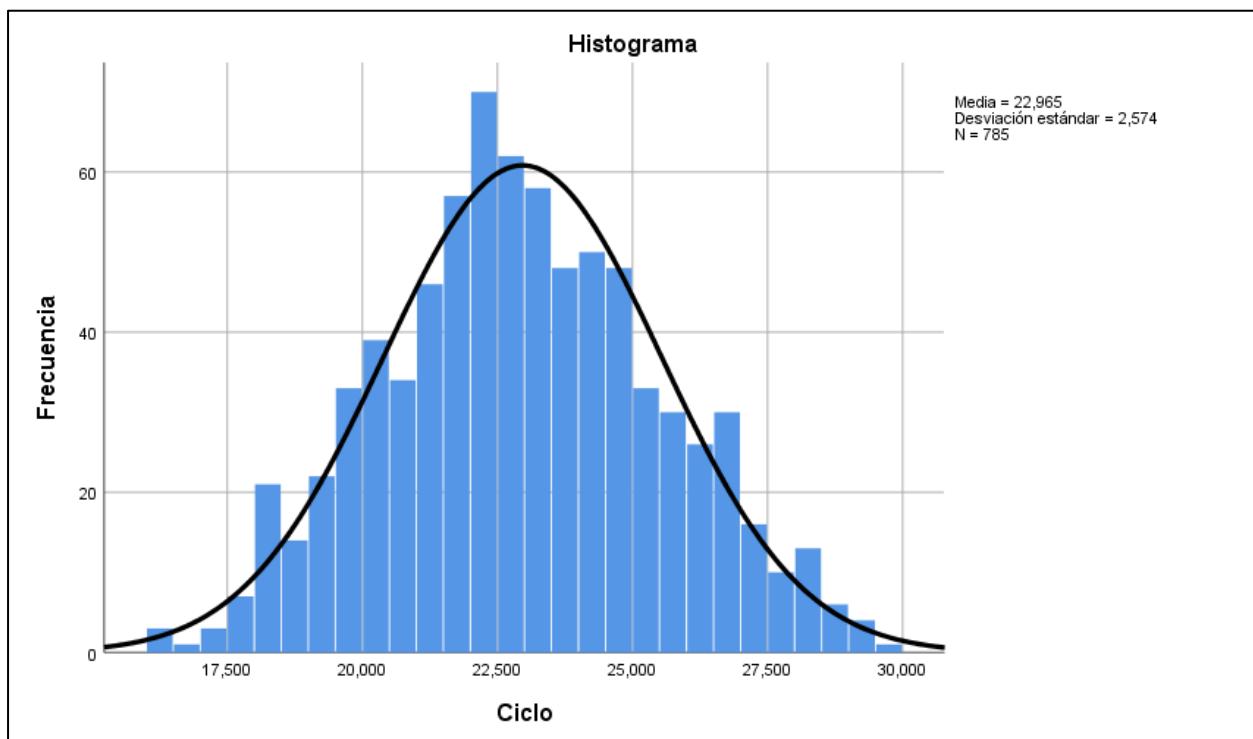
Anexo 8.
Prueba de Normalidad para volquete de 30 m³

Pruebas de normalidad						
Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Ciclo	,015	713	,200*	,996	713	,099

Señalado de rojo σ (Prueba de normalidad)

Anexo 9.

Campana de Gauss o distribución normal para volquete de 24 m³



Anexo 10.

Prueba de Normalidad para volquete de 24 m³

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ciclo	,030	785	,099	,995	785	,019

Señalado de rojo σ (Prueba de normalidad)

Anexo 11.
Prueba de T – Student para el ciclo

Estadísticas de grupo					
	Grupos	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Ciclo	A	785	22.96202	2.574322	.091881
	B	713	25.27647	1.822564	.068256

Prueba de muestras independientes									
Prueba de Levene de igualdad de varianzas			prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
Ciclo	Se asumen varianzas iguales	79,769	,000	-19,900	1496	,000	-2.314447	.116304	-2.542582 -2.086312
	No se asumen varianzas iguales			-20,221	1413,921	,000	-2.314447	.114460	-2.538976 -2.089918

Señalado de rojo P (Probabilidad)

Anexo 12.
Prueba de T – Student para el rendimiento

Estadísticas de grupo					
	Grupos	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Tonelaje	A	785	101,1400	,000000	,000000
	B	713	122,4800	,000000	,000000

Prueba de muestras independientes									
Prueba de Levene de igualdad de varianzas			prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
Tonelaje	Se asumen varianzas iguales	372,400	,000	-7,489E+14	1496	,000	-21,34000	,00000	-21,34000 -21,34000
	No se asumen varianzas iguales			-7,312E+14	1117,812	,000	-21,34000	,00000	-21,34000 -21,34000

Señalado de rojo P (Probabilidad)

Anexo 13.
Prueba de T – Student para el costo unitario

Estadísticas de grupo					
	Grupos	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo_Unitario	A	785	,49400	,000000	,000000
	B	713	,44900	,000000	,000000

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias				95% de intervalo de confianza de la diferencia		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Costo_Unitario	Se asumen varianzas iguales		.	2,476E+14	1496	,000	,045000	,000000	,045000	,045000
	No se asumen varianzas iguales			2,473E+14	1473,518	,000	,045000	,000000	,045000	,045000

Señalado de rojo P (Probabilidad)

Anexo 14.
Intervalo de confianza (X) para volquete de 30 m³

$$X = \text{Promedio} \left(\pm 1.96 * \frac{\text{Desviación est\'andar}}{\sqrt{N^{\circ} \text{ muestras}}} \right)$$

$$X = 25.28 \left(\pm 1.96 * \frac{1.823}{\sqrt{713}} \right)$$

$$X = 25.28 (\pm 0.13)$$

Anexo 15.
Intervalo de confianza (X) para volquete de 24 m³

$$X = \text{Promedio} \left(\pm 1.96 * \frac{\text{Desviación est\'andar}}{\sqrt{N^{\circ} \text{ muestras}}} \right)$$

$$X = 22.96 \left(\pm 1.96 * \frac{2.574}{\sqrt{785}} \right)$$

$$X = 22.96 (\pm 0.18)$$