

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Estudio comparativo de la eficiencia de los equipos de carguío para
mejorar la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera**

Atacocha S.A.A. - 2024

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Vylward Jamil CASAS YANCAN

Asesor:

Mg. Floro Pagel ZENTENO GÓMEZ

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Estudio comparativo de la eficiencia de los equipos de carguío para
mejorar la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera**

Atacocha S.A.A. - 2024

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO
PRESIDENTE

Mg. Teodoro Rodrigo SANTIAGO ALMERCO
MIEMBRO

Mg. Wenceslao Julio LEDESMA VELITA
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"



Firmado digitalmente por CONDOR SURICHAQUI Santa Silvia FAU 20154605046 soft
Soy el autor del documento
8.12.2025 22:35:31 -05:00



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 062-2025

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

Presentado por:

Bach. CASAS YANCAN Vylward Jamil

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo
"Estudio Comparativo de la Eficiencia de los Equipos de Carguío para Mejorar la Producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.- 2024"

Asesor:
Mg. ZENTENO GÓMEZ Floro Pagel

Índice de Similitud: **5%**

Calificativo
APROBADO

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

Cerro de Pasco, 18 de diciembre de 2025.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

A Dios por darme salud, sabiduría y por estar presente en mi proceso de la universidad y concluirlo satisfactoriamente.

A mis padres, Elmer y Rosa, son las dos personas más importantes en mi vida, por el amor que me brinda y su apoyo incondicional para forjarme como profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme, cuidarme y estar presente en mi etapa universitaria y en mi vida como foráneo.

A mis amados padres Elmer y Rosa, porque son personas a quienes les debo la vida y a las que quiero hacer sentir orgullo del gran profesional que forjaron para la sociedad.

A mi abuelo Nicanor, por el gran amor que me brindo, por sus enseñanzas, por conducir mi camino a la minería y desde el cielo me guía y se siento orgulloso de su nieto que ahora es Ing. De Minas.

A mis amigos de la universidad, por su paciencia, comprensión y compañía en un trayecto de un universitario foráneo lejos de familia.

El Autor

RESUMEN

La presente investigación intitulada “Estudio Comparativo de la Eficiencia de los Equipos de Carguío para Mejorar la Producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-2024”, tiene como objetivo determinar la mayor eficiencia de los equipos de carguío para mejorar la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A; se empleó una técnica de diseño cuantitativo descriptivo, orientada por un enfoque analítico-aplicado, cuyo propósito principal es proporcionar una descripción detallada y precisa de los datos recopilados. La población de la presente investigación está establecida por los 08 equipos de carguío del proceso de producción de operaciones superficie en la Unidad Minera Atacocha S.A.A. – Nexa Resources. Como resultado, se evidenció que el factor de carga alcanzado por las cucharas de las excavadoras evaluadas se encuentra por debajo de su capacidad teórica, lo cual indica un aprovechamiento subóptimo del equipo.

En particular, la excavadora CAT349D registró un factor de carga máximo de 67.18 %, mientras que la excavadora CAT374F alcanzó un 84.84 %. Si bien este último valor denota un mejor rendimiento relativo, en ambos casos se observa una utilización limitada del volumen efectivo de las cucharas. Esta situación sugiere oportunidades de mejora en la eficiencia operativa del carguío, ya sea mediante ajustes en la mejora de la técnica de operación, la fragmentación mediante voladura del material o la adecuación sin limitaciones del frente de trabajo.

Palabras clave. Carguío, banco, depósitos, flota, ciclo de carguío, factor de llenado de cuchara, mina a cielo abierto.

ABSTRACT

The present research titled “Comparative Study of the Efficiency of Loading Equipment to Improve Production at the San Gerardo Pit of the Atacocha S.A.A. Mining Unit - 2024” aims to determine the highest efficiency of loading equipment to enhance production at the San Gerardo Pit of the Atacocha S.A.A. Mining Unit; a descriptive quantitative design technique was employed, guided by an analytical-applied approach, whose main purpose is to provide a detailed and accurate description of the collected data. The population of this research consists of the 08 loading equipment used in the surface operations production process at the Atacocha S.A.A. – Nexa Resources Mining Unit. As a result, it was evidenced that the load factor achieved by the buckets of the evaluated excavators is below their theoretical capacity, which indicates suboptimal utilization of the equipment.

In particular, the CAT349D excavator recorded a maximum load factor of 67.18%, while the CAT374F excavator reached 84.84%. Although this latter value indicates better relative performance, in both cases there is limited utilization of the effective volume of the buckets. This situation suggests opportunities for improvement in the operational efficiency of loading, whether through adjustments in the improvement of operating technique, fragmentation of the material through blasting, or unhindered adaptation of the working front.

Keywords. Loading, bench, deposits, fleet, loading cycle, bucket fill factor, open-pit mine

INTRODUCCIÓN

La industria minera se caracteriza por su constante búsqueda de mejora continua, incorporando tecnologías innovadoras, nuevos procesos, equipos modernos y estrategias de optimización orientadas a maximizar la productividad y rentabilidad de sus operaciones. Para garantizar la sostenibilidad de una empresa minera, resulta fundamental que los costos de producción se mantengan por debajo de los ingresos obtenidos por la comercialización de sus productos. En este contexto, mejorar la rentabilidad implica optimizar la productividad, el rendimiento operativo y la eficiencia en el uso de los activos, reduciendo al mínimo los costos variables, especialmente aquellos relacionados con el mantenimiento.

En respuesta a esta necesidad, se plantea el desarrollo del presente estudio titulado: 'Estudio Comparativo de la Eficiencia de los Equipos de Carguío para Mejorar la Producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.–2024', cuyo objetivo principal es identificar el equipo de carguío con mayor eficiencia operativa, con miras a incrementar la productividad durante el proceso de carguío en el tajo abierto San Gerardo.

La presente investigación se organiza en cuatro capítulos, los cuales se detallan a continuación:

El primer capítulo aborda el problema de investigación, introduce al lector en la temática, formula el problema, establece los objetivos generales y específicos, resalta la relevancia y el alcance del estudio, proporciona el sustento teórico-científico, plantea las hipótesis y presenta la operacionalización de las variables. El segundo capítulo desarrolla el marco teórico, define las variables de estudio, expone los antecedentes relevantes y analiza las teorías y fundamentos vinculados al tema.

El tercer capítulo describe de manera general la metodología empleada y las técnicas aplicadas en la investigación.

Por último, el cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos, el análisis estadístico correspondiente, la interpretación de las tablas y la discusión de los hallazgos.

ÍNDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.	2
1.2.1. Espacial.....	2
1.2.2. Temporal	2
1.2.3. Temática.....	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas específicos.....	3
1.4. Formulación de objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Justificación de la investigación	3
1.6. Limitaciones de la investigación.....	4

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	5
-----------------------------------	---

2.1.1. A nivel internacional.....	5
2.1.2. A nivel nacional	6
2.1.3. A nivel Local	8
2.2. Bases teóricas – científicas.....	8
2.2.1. Dependencia directa de variables en el sistema de CARGUÍO.....	8
2.2.2. Sistema de Carguío.....	12
2.2.3. Características de Excavadoras CAT	13
2.2.4. Técnica para mejora en rendimientos de equipos.....	20
2.3. Definición de términos básicos.....	26
2.4. Formulación de Hipótesis.....	31
2.4.1. Hipótesis general.....	31
2.4.2. Hipótesis específicas.....	32
2.5. Identificación de Variables	32
2.5.1. Variables independientes.....	32
2.5.2. Variables dependientes	32
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.....	33

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación	34
3.2. Nivel de investigación	34
3.3. Métodos de investigación.....	34
3.4. Diseño de investigación	35
3.5. Población y muestra	35
3.5.1. Población	35
3.5.2. Muestra	35
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.6.1. Técnicas.....	36
3.6.2. Instrumento:	36

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.	36
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	37
3.9. Tratamiento estadístico.....	37
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	37

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	38
4.1.1. Ubicación de la Unidad Minera	38
4.1.2. Accesibilidad	39
4.1.3. Clima	40
4.1.4. Topografía	40
4.1.5. Geología.....	40
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	41
4.2.1. Base de datos de carguío (BD_CARGUIO)	41
4.2.2. Reporte de Análisis de Carguío con Equipos CAT374F y CAT349D	43
4.2.3. Resultados de Análisis de Carguío con Equipos CAT374F y CAT349D	61
4.3. Prueba de Hipótesis.....	92
4.4. Discusión de resultados.....	94

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Operacionalización de variables.....	33
Tabla 2. Accesibilidad.	40
Tabla 3. Cantidad de datos registrados (BD_CARGUIO).....	41
Tabla 4. Cantidad de datos por Equipos de Carguío (BD_CARGUIO).	42
Tabla 5. Cantidad de datos por Unidad Geológica (BD_CARGUIO).	42
Tabla 6. Cantidad de datos por Banco (BD_CARGUIO).	42
Tabla 7. Cantidad de datos por Equipos de Acarreo (BD_CARGUIO).....	42
Tabla 8. Cantidad de datos por Tipos de Improductivos (BD_CARGUIO).	43
Tabla 9. Reporte de Carguío – Prueba 01	43
Tabla 10. Resultados de Carguío – Reporte de Prueba 01.....	43
Tabla 11. Rendimientos – Reporte de Prueba 01.....	44
Tabla 12. Reporte de Carguío – Prueba 02.....	50
Tabla 13. Resultados de Carguío – Reporte de Prueba 02.	50
Tabla 14. Rendimientos – Reporte de Prueba 02.	51
Tabla 15. Reporte de Carguío – Prueba 03.....	56
Tabla 16. Resultados de Carguío – Reporte de Prueba 03.	56
Tabla 17. Rendimientos – Reporte de Prueba 03	58
Tabla 18. Muestra representativa en datos del primer pase (PP).....	62
Tabla 19. Muestra representativa en datos del pase estándar (PE)	63
Tabla 20. Comparación de modelos de ajuste de datos totales vs datos representativos ...	65
Tabla 21. Errores según cantidad de datos medidos	65
Tabla 22. Valores eliminados en cada distribución en primer pase	68
Tabla 23. Valores eliminados en cada distribución en pase estándar.....	71
Tabla 24. Número de pases por capacidad de volquete en calizas con CAT349D.	75
Tabla 25. Valores max. y min. promedio de acarreo desde fase 2 a OP y PR.....	76

Tabla 26. Productividad por hora de mineral con CAT 349D en Calizas con volquetes de 20 m3.	76
Tabla 27. Productividad por hora de mineral con CAT 349D en Calizas con volquetes de 24 m3.	77
Tabla 28. Productividad por hora de desmonte con CAT 349D en Calizas con volquetes de 20 m3.	79
Tabla 29. Productividad por hora de desmonte con CAT 349D en Calizas con volquetes de 20 m3	79
Tabla 30. Número de pases por capacidad de volquete en Calizas con CAT374F.....	82
Tabla 31. Valores Max. y min. promedio de acarreo desde fase2 a PR.	84
Tabla 32. Productividad por hora de desmonte con CAT 374F en Calizas con volquetes de 20 m3.....	84
Tabla 33. Productividad por hora de desmonte con CAT 374F en Calizas con volquetes de 24 m3.....	84
Tabla 34. Numero de pases por capacidad de volquete en Intrusivo con CAT374F.....	88
Tabla 35. Valores Max. y min. promedio de acarreo desde fase3 a PR.	89
Tabla 36. Productividad por hora de desmonte con CAT 374F en Intrusivo con volquetes de 20 m3.	89
Tabla 37. Productividad por hora de desmonte con CAT 374F en Intrusivo con volquetes de 24 m3.	90
Tabla 38. Prueba de Normalidad de variables.	92
Tabla 39. Correlación de Pearson.....	93
Tabla 40. Resumen de rendimiento de carguío con equipo modelo CAT349D.....	95
Tabla 41. Resumen de rendimiento de carguío con equipo modelo CAT374F	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de dependencia de variables principales en carguío.	8
Figura 2. Descripción de filtración para análisis de datos de carguío.	10
Figura 3. Diagrama de análisis general de datos de carguío.	11
Figura 4. Excavadora CAT374F.	15
Figura 5. Excavadora CAT349D.	17
Figura 6. Excavadora CAT336DL.	19
Figura 7. Ciclo PHVA - 2015.	21
Figura 8. Flujograma del Ciclo PDCA.	23
Figura 9. PHVA en SSO – OHSAS 18000.	25
Figura 10. Mapa de localización de la Unidad Minera Atacocha.	39
Figura 11. Gráfico de Distribución de Tiempos – Reporte de Prueba 01.	44
Figura 12. Gráfico de Rendimientos – Reporte de Prueba 01.	45
Figura 13. Gráfico de Número de Viajes por Hora – Reporte de Prueba 01.	45
Figura 14. Gráfico de Número de Pases por Número de Viajes – Reporte de Prueba 01..	46
Figura 15. Gráfico de Distribución de carguío en el primer pase - Material Desmonte – Reporte de Prueba 01.	46
Figura 16. Gráfico de Distribución de carguío pase estándar - Material Desmonte – Reporte de Prueba 01.	47
Figura 17. Gráfico de Distribución de carguío en el primer pase – Material Mineral – Reporte de Prueba 01.	48
Figura 18. Gráfico de Distribución de carguío pase estándar - Material Mineral – Reporte de Prueba 01.	49
Figura 19. Gráfico de Distribución de Tiempos – Reporte de Prueba 02.	50
Figura 20. Gráfico de Rendimientos – Reporte de Prueba 02.	52
Figura 21. Gráfico de Número de Viajes por Hora – Reporte de Prueba 02.	52
Figura 22. Gráfico de Número de Pases por Número de viajes - Reporte de Prueba 02. ...	53
Figura 23. Gráfico de Distribución de carguío en el primer pase - Reporte de prueba 02..	54

Figura 24. Gráfico de Distribución de carguío pase estándar - Reporte de Prueba 02.	55
Figura 25. Gráfico de Distribución de Tiempos – Reporte de Prueba 03.	57
Figura 26. Gráfico de Rendimientos – Reporte de Prueba 03.	58
Figura 27. Gráfico de Número de Viajes por Hora – Reporte de Prueba 03.	59
Figura 28. Gráfico de Número de Pases por Número de viajes - Reporte de prueba 03. ...	59
Figura 29. Gráfico de Distribución de carguío en el primer pase – Reporte de Prueba 03.	60
Figura 30. Gráfico de Distribución de carguío pase estándar – Reporte de Prueba 03.....	61
Figura 31. Gráfico de correlación de datos totales y muestra representativa.....	64
Figura 32. Gráfico de Distribuciones de todo el ciclo en el primer pase de CAT374F	66
Figura 33. Gráfico de Distribuciones de todo el ciclo en el primer pase de CAT349D.....	67
Figura 34. Gráfico de Distribuciones de todo el ciclo en pase estándar de CAT374F	69
Figura 35. Gráfico de Distribuciones de todo el ciclo en pase estándar de CAT349D.....	70
Figura 36. Gráfico de Distribuciones de acomodamiento por cada equipo y litología	72
Figura 37. Gráfico de Histogramas de numero de pases en Calizas con CAT349D.	74
Figura 38. Gráfico de eficiencia, colas y esperas en productividad de mineral de CAT349D.	78
Figura 39. Gráfico de comparación de ton esperados y ciclo de carguío en mineral de CAT349D.....	78
Figura 40. Gráfico de eficiencia, colas y esperas en productividad de desmonte de CAT349D	80
Figura 41. Gráfico de comparación de ton esperados y ciclo de carguío en desmonte de CAT349D.....	80
Figura 42. Gráfico de Histogramas de numero de pases en Calizas con CAT374F	82
Figura 43. Gráfico de eficiencia, colas y esperas en productividad de desmonte de CAT374F	85
Figura 44. Gráfico de comparación de ton esperados y ciclo de carguío en desmonte de CAT374F	86
Figura 45. Gráfico de Histogramas de numero de pases en Intrusivo con CAT374F	87

Figura 46. Gráfico de eficiencia, colas y esperas en productividad de desmonte de fase 3 con CAT374F.	90
Figura 47. Gráfico de comparación de ton esperados y ciclo de carguío en desmonte de fase 3 con CAT374F.	91
Figura 48. Correlación entre Coeficiente y termino independiente en tendencia lineal de Tiempo de acarreo Vs Producción.	93

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

En los últimos años, la industria minera en México ha experimentado una rápida evolución en respuesta a los cambios globales en tecnología, economía y comercio. En este contexto, la competitividad de las empresas mineras se ha vuelto más exigente, requiriendo una mayor eficiencia en los procesos y resultados. El proceso de carguío, que representa entre el 45% y el 65% de los costos de operación minera, es crucial. Por lo tanto, es fundamental garantizar condiciones operativas óptimas para obtener el máximo rendimiento de los equipos, tanto en términos físicos (materiales, equipos, mantenimiento, disponibilidad, insumos, etc.) como humanos (operadores, técnicos de mantenimiento, supervisores de turno, etc.).

En Perú, el proceso esencial de carga y transporte de material extraído en minas a cielo abierto representa aproximadamente el 60% de la operación minera, tanto en regiones como Cajamarca como en Cerro de Pasco. Empresas como 2 Yanacocha S.R.L están comprometidas con la mejora constante de estas operaciones, utilizando herramientas que les permiten evaluar la eficiencia y efectividad de sus equipos.

En el Departamento y Provincia de Pasco, en el Distrito de San Francisco de Asís de Yarusyacán, se encuentra la Unidad Minera Atacocha S.A.A - Nexa Resources. Aquí, se han identificado deficiencias en los equipos de carga debido a la falta de análisis por parte de las empresas. Esta problemática se refleja en el número de ciclos que las excavadoras realizan para cargar los volquetes, ya que el último ciclo de carga no se completa en su totalidad, alcanzando solo entre el 50% y el 60% de su capacidad.

En este contexto, el objetivo de esta tesis profesional es mejorar la optimización de los equipos de carga mediante la aplicación del ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar). Posteriormente, se procederá a implementar estas mejoras y verificar sus resultados. Se busca determinar con precisión la eficacia de los equipos de carga para mejorar la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A, logrando reducir los costos por unidad transportada mediante un plan de trabajo adecuado. El análisis de esta operación se realizará mediante la observación del proceso con el fin de identificar áreas de mejora, las cuales serán luego confirmadas mediante verificación.

1.2. Delimitación de la investigación.

1.2.1. Espacial

El presente estudio será desarrollado plenamente en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A – Nexa Resources.

1.2.2. Temporal

El estudio se elaborará durante los meses de enero a abril del 2024.

1.2.3. Temática

La temática de estudio está motivada al estudio comparativo de la eficiencia de los equipos de carguío para mejorar la producción.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo influye la eficiencia de equipos de carguío para mejorar la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son los factores que afectan a los equipos de carguío en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.?
- b. ¿Cuál es el equipo que presenta mejora en la producción a menor costo en la operación de carguío en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la mayor eficiencia de los equipos de carguío para mejorar la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la pérdida que genera la menor eficiencia de equipos de carguío en la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.
- b. Realizar el estudio de comparación de eficiencia de los equipos de carguío en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.

1.5. Justificación de la investigación

La relevancia de esta tesis profesional radica en que mejorar la eficiencia de los equipos puede aumentar la productividad de una empresa. Al optar por equipos distintos, es crucial reevaluar sus capacidades y eficacia. En el caso de empresas mineras extranjeras como la minera Peña Colorada en México y la Empresa Minera Yanacocha SRL en Perú, se destaca la necesidad de comparar y evaluar diferentes equipos de carga y transporte para optimizar la producción y reducir costos.

La falta de un análisis exhaustivo al cambiar los equipos puede llevar a deficiencias no estimadas. Por ejemplo, al sustituir la excavadora CAT349D por el Modelo CAT349D = RE-40, no se tuvo en cuenta si su capacidad era compatible con los equipos de acarreo. Esto resultó en un rendimiento similar al Modelo CAT336DL = RE-20, lo que sugiere que el equipo adquirido no era rentable según lo planeado, debido a deficiencias en su desempeño en la carga de material a los volquetes.

Los resultados obtenidos permitieron identificar la mejor opción de eficiencia de un equipo Modelo CAT para la Unidad de Producción del Tajo San Gerardo, asegurando así el cumplimiento de la meta programada para 2024. Se planea utilizar la metodología PDCA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), reconocida por su capacidad para mejorar continuamente la productividad.

Además, los hallazgos de esta investigación pueden servir como guía para otros investigadores y para instituciones educativas, empresas públicas y privadas interesadas en mejorar la eficiencia de los equipos de carga y transporte para aumentar la producción.

1.6. Limitaciones de la investigación

Durante el desarrollo de la investigación, no se detectaron limitaciones significativas, ya que fue posible obtener acceso a toda la información requerida, la cual formaba parte integral de las responsabilidades del practicante

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. A nivel internacional

En Ecuador, según (Rosero, 2013) en su tesis titulada Alternativas para controlar las pérdidas de los elementos de desgaste de los equipos de carguío, en la mina a cielo abierto concluyó que el consumo de los elementos de desgaste (GETs) en las palas 701 y 702 y en el cargador frontal 281 se basó en estadísticas de los años 2010, 2011 y 2012. Estos datos consideraron el desgaste, la ruptura y las pérdidas, siendo el desgaste el 91 % del consumo total, la ruptura el 3 % y las pérdidas el 6 %. Además, se determinó que las pérdidas de los elementos de desgaste, como dientes, entredientes, adaptadores, esquineros y corredores de las palas, son la causa principal de atascamientos en el chancador Don Luis. Para investigar y determinar el consumo de estos elementos se utilizaron tecnologías como Toothmetrics TM, Sensores Extensiométricos y Mining TAG de dientes. Se concluyó que los operadores de las palas y los conductores de los camiones son los más efectivos para detectar la presencia de inchancables, ya que observan el mineral antes y después de las operaciones de carguío.

Según (Molina, 2021), los desafíos de la operación minera se centran en la gestión de información confiable y su análisis, lo cual hace que esta actividad sea

extremadamente compleja. Además, la interacción entre máquinas y operarios está influenciada por muchos factores específicos que son cruciales para una operación minera eficiente y calificada, requiriendo un cuidado extremo en el manejo del tiempo. Un simple retraso en una variable puede causar un desequilibrio económico y reducir la producción. Dentro de las actividades unitarias de minería a cielo abierto, el sistema pala-camión representa entre el 50% y el 60% de los costos operativos. Un análisis adecuado de las variables involucradas en este sistema permite tomar decisiones oportunas en la operación.

Este sistema es el enfoque de estudio para desarrollar un algoritmo evolutivo no determinístico que optimice los tiempos muertos del sistema palacamiión en una mina de carbón a cielo abierto, reduciendo la incertidumbre que a menudo no se considera en los análisis mineros. En nuestra investigación, estas incertidumbres se denominan t_x (incertidumbres de ida) y t_y (incertidumbres de regreso). Este enfoque permite una pronta toma de decisiones en la planificación a corto plazo y mejora la productividad. La herramienta propuesta ofrece una gama de posibles soluciones (cromosomas) que pueden reducir los tiempos de ciclo entre 1.3 y 5.3 minutos, logrando un incremento de hasta 51.75 bcm/h en el proceso, según el ejercicio aplicado. Además, se puede ajustar según las restricciones del evaluador, teniendo en cuenta la velocidad, las constantes del proceso y la población objetivo.

2.1.2. A nivel nacional

Según (Días, 2016), en su estudio de investigación titulado Comparación de la eficiencia de los equipos de carguío modelo cat 390 por el modelo cat 385 para optimizar la producción en el área de operaciones mina Tantahuatay, tiene como objetivo determinar cuál de los equipos de carguío, el Modelo CAT 390 por el Modelo CAT 385, ofrece una mayor producción para optimizar la operación en el Área de Operaciones Mina Tantahuatay. La unidad de producción Tantahuatay, de la empresa Cia Minera Coimolache, ubicada en la comunidad del Tingo, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, enfrenta deficiencias en el uso de los equipos de carguío

debido a la falta de un análisis adecuado. Los cargadores Modelo CAT 390 no son compatibles con los volquetes Actros 4144 k, lo que genera pérdidas en el proceso productivo. Se determinó que el equipo de carguío más eficiente es el Modelo CAT 385, con una eficiencia del 98% y una producción de 1298.23 toneladas por hora, en comparación con el Modelo CAT 390, que tiene una eficiencia del 97% y una producción promedio de 1314.67 toneladas por hora. Esta investigación se justifica en que mejorar la eficiencia de los equipos aumenta la tasa de producción de la empresa. Al seleccionar equipos diferentes, es necesario reevaluar sus capacidades y factores de eficiencia para elegir los mejores sistemas alternativos de carguío y transporte en la empresa. En la provincia de Hualgayoc, en la Unidad de Producción Tantahuatay de la Cia Minera Coimolache, el plan de producción para el año 2015 contempla cargar 70,000 toneladas de mineral por día, objetivo que se espera alcanzar con los equipos Modelos CAT 385 y 390. Como resultado, se encontró que la excavadora Modelo CAT 390 genera una pérdida de \$3466.368 mensuales, mientras que el Modelo CAT 385 añade 22,000 toneladas mensuales a su producción, evitando pérdidas.

Por otro lado (Cachi y Juarez, 2022) en su investigación titulada Evaluación del rendimiento y costo unitario de carguío de las excavadoras de producción en una mina a tajo abierto, La Libertad 2022, tiene como objetivo evaluar el rendimiento y el costo unitario de carguío de las excavadoras de producción en una mina a tajo abierto ubicada en La Libertad, en el año 2022. La muestra considerada incluye seis excavadoras CAT encargadas del carguío en el frente de minado de material mineral. Se concluyó que la excavadora que realizó más viajes fue la 950E_02CED, con un total de hasta 23 viajes en un turno. En la tabla 03 se evidencia que, en mayo las excavadoras con la mayor cantidad de viajes fueron la 950E_02CED, con 292 viajes, y la 390FL_03SS, con 337 viajes. Además, la excavadora con mayor tiempo de ciclo fue la 390FL_03SS, con valores de hasta 42.5 minutos, mientras que las excavadoras 950E_02CED y 390FL_01SAG presentaron los tiempos mínimos de ciclo, con 8 y 12.5 minutos respectivamente. La excavadora 950E_01CED mostró el mejor rendimiento,

superando lo planificado en 248 toneladas. Las excavadoras 950E_01CED y 390FL_03SS, que presentaron mayor rendimiento, tuvieron un costo unitario real en el carguío de 0.128 \$/t y 0.125 \$/t respectivamente, con una diferencia respecto al costo unitario planificado de 0.017 \$/t y 0.13 \$/t mensuales.

2.1.3. A nivel Local

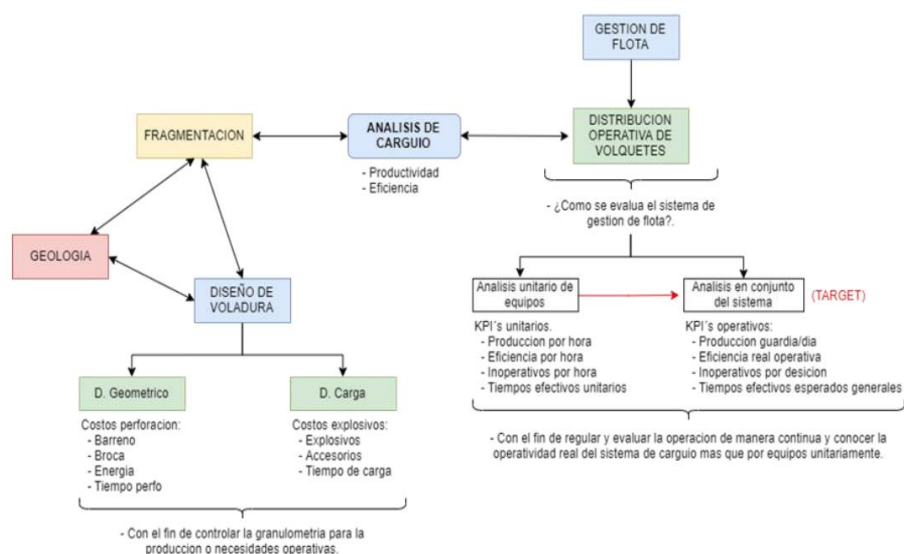
Se realizaron las búsquedas necesarias en las bibliotecas locales, pero no se encontraron recursos ni materiales pertinentes para la investigación en curso. Esta falta de información destaca la necesidad de ampliar las fuentes de consulta, incluyendo bibliotecas universitarias especializadas y bases de datos en línea, para asegurar que se cubran todos los aspectos relevantes del estudio.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Dependencia directa de variables en el sistema de CARGUÍO

Existen dos variables principales para que la eficiencia del carguío aumente, se trata de la fragmentación y de la asignación o distribución de volquetes sin embargo cada una de ellas depende directamente de otras variables que a su vez tienen costos asociados entre estos costos podemos encontrar costos fijos, variables y de oportunidad.

Figura 1. Diagrama de dependencia de variables principales en carguío.



Nota: En la figura 1 se observa el diagrama de dependencia de variables principales en carguío.

Como el diagrama describe la variable medible de fragmentación (medible porque no se puede controlar directamente) depende de la geología y del diseño de la voladura, este diseño comprende de un diseño geométrico (malla, diámetro de perforación) y de un diseño de carga (explosivo, tamaño de carga), estas variables no fueron parte de la medición realizada así que solamente son mencionadas por su importancia y para un futuro análisis.

Por otra parte la otra variable de dependencia directa (Distribución de volquetes) si está contemplada y es de mucha prioridad en los datos obtenidos en la BD-CARGUIO entonces es en esta variable donde pondremos el énfasis del estudio; toda distribución depende de un modelo de gestión de flota y este responde a las necesidades operativas momentáneas y a corto plazo de la operación, es por ello que se plantea un estudio secuencial para evaluar el sistema y encontrar resultados de indicadores no sesgados.

La primera parte (el cual corresponde principalmente a toda la sustentación de este documento) se enfoca en el Análisis unitario de equipos es decir usar los datos obtenidos para conocer indicadores como: producción por hora, eficiencia por hora, inoperativos por hora, etc., todo esto desde el análisis estadístico-matemático sobre la base de datos, y demostrar el rendimiento de cada equipo en distintas condiciones.

La segunda parte se enfoca en el Análisis en conjunto del sistema, para conocer la eficiencia de cada equipo no basta con saber cuál es el rendimiento esperado que posea (según las circunstancias) ya que esto se aplicaría solamente en caso de que se mantenga continuo en el tiempo, en la operación es común que las redistribuciones de flota surjan con lo cual los rendimientos individuales disminuyen, entonces la solución es comprender o modelar el sistema operativo y con ello la serie de redistribuciones que se hacen en el transcurso del día para así tener como resultado producción por guardia, eficiencia real de cada equipo, valores de inoperativos por decisión y tiempos efectivos esperados reales.

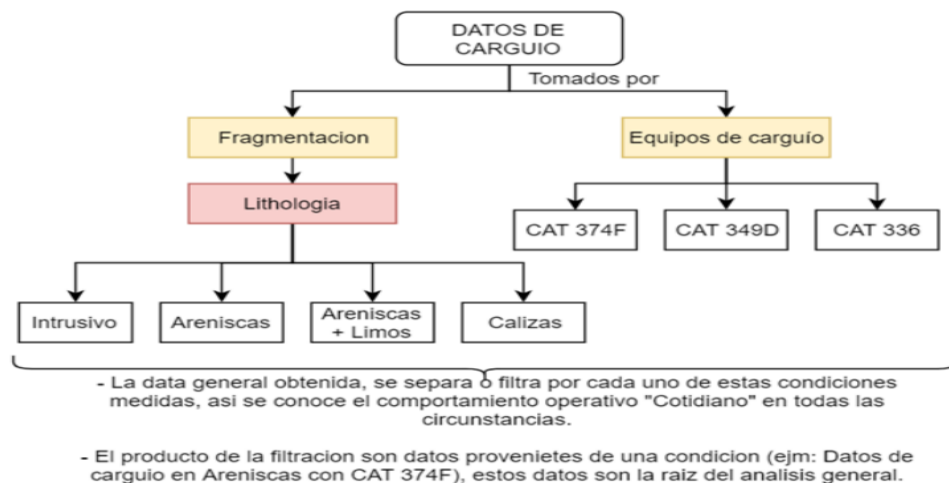
El estudio planteado tiene como base a los datos obtenidos en campo es por ello que la veracidad depende del cuidadoso y selectivo análisis de los datos.

Descripción de análisis de datos de Carguío:

En el primer capítulo se describe el contenido de las bases de datos y en este subcapítulo encontramos la importancia de la selectividad que hubo con respecto a la toma de variables.

La importancia radica en que cada equipo trabaja de manera diferente en cada litología (debería ser por fragmentación, sin embargo al ser evidentemente parecida la granulometría por litologías y no tener una manera eficiente de medir la fragmentación, se optó por litología) y esto debe ser evidente en el comportamiento estadístico de los datos, al ser selectivos podemos disminuir el error de predicción y al analizar por filtros la data conoceremos el comportamiento de los datos en cada circunstancia medida.

Figura 2. Descripción de filtración para análisis de datos de carguío.



Nota: En la figura 2 se observa la descripción de filtración para análisis de datos de carguío

Una vez filtrados los datos se procede a separarlos ya que el tratamiento que se les dará es único, la separación es en dos grupos:

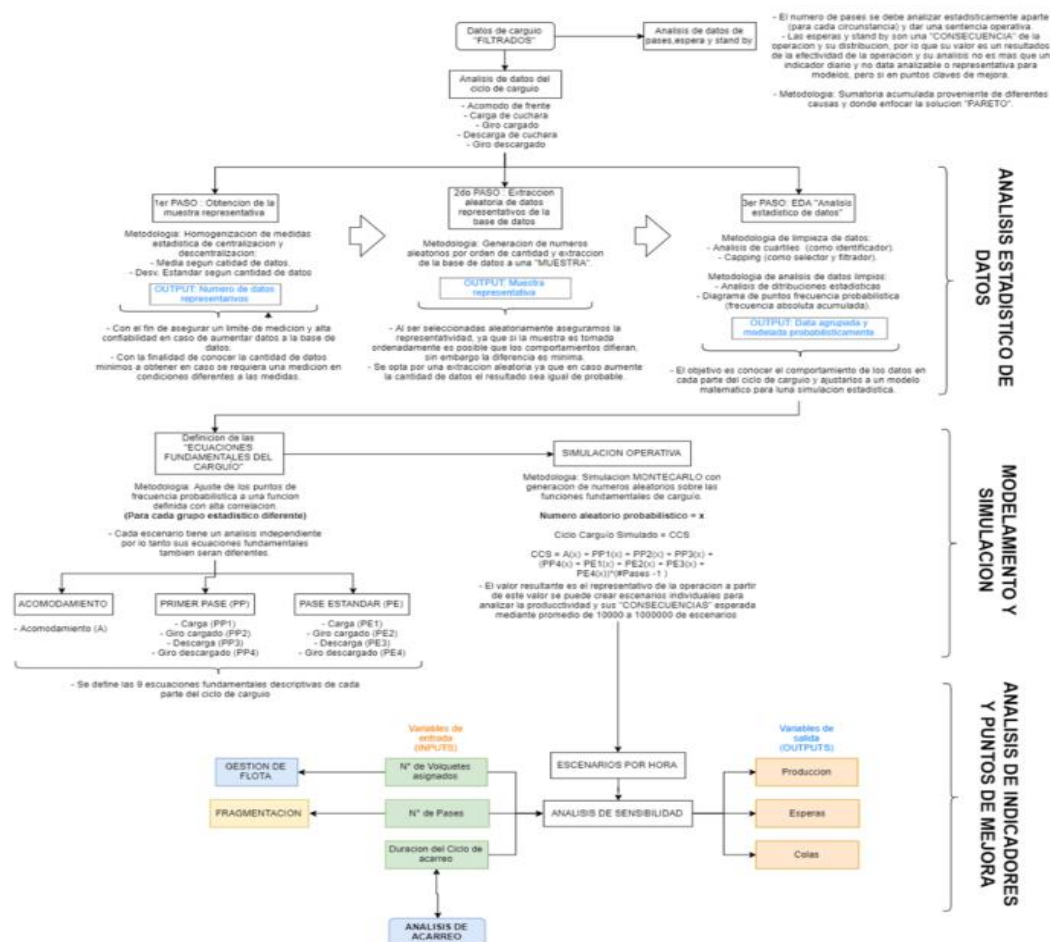
Datos estadísticos independientes: Son datos que pueden ser analizados en conjunto, ser seleccionados aleatoriamente y seguir manteniendo la representatividad

grupal ya que no dependen de nada más que de las condiciones de medición (equipo y litología).

Datos estadísticos dependientes: Son datos que dependen de muchas variables externas pues un cambio en una de ellas cambiaría el valor del dato, por ende, no se pueden analizar grupalmente, sin embargo, se pueden analizar como recuentos para una mejora o sentencia operativa, un claro ejemplo de ello es el número de pases, es muy variable en cada circunstancia, sin embargo, para una operación continua es necesario que su valor sea estable.

A continuación, se muestra el diagrama de análisis de los datos de carguío, así como los pasos a seguir y la metodología por la que se opta en cada parte, todo con el fin de obtener un sustento completo de los resultados.

Figura 3. Diagrama de análisis general de datos de carguío.



Nota: En la figura 3 se observa el diagrama de análisis general de datos de carguío.

El análisis fue dividido en 3 partes fundamentales ya que en cada parte se obtiene una recomendación significativa para la operación, esto ayuda más allá de la simulación de datos y se enfoca al control general y mejora continua de la operación unitaria de carguío.

La primera parte Análisis estadístico de datos tiene como objetivo principal reducir la base de datos a una muestra representativa, esto se traduce en la operación a que no es necesario la medida continua de datos durante días o semanas enteras, sino que se pueden hacer campañas de medición en circunstancias diferentes, así nos aseguramos la confiabilidad en la cantidad de datos secuenciales y la estrategia para obtener más datos diferentes a los que se presentan en la BD-CARGUIO.

La segunda parte Modelamiento y simulación tiene como finalidad encontrar los KPI's unitarios esperados para cada circunstancia mediante la representatividad de los modelos unitarios para cada una de las partes del ciclo de carguío. Con estos valores ya se puede controlar la operación de manera beneficiosa y limitar el accionar de cada equipo.

La tercera parte Análisis de indicadores y puntos de mejora se enfoca en la variabilidad permisible de las variables y como afecta a los resultados de producción o consecuencias de colas y esperas, al entender la permisividad de la sensibilidad de las principales variables (Volquetes, Pases, Tiempo de acarreo) se pueden asociar costos de oportunidad con lo cual se empezaría a definir un modelo de optimización.

2.2.2. Sistema de Carguío

La selección del equipo adecuado para minería a cielo abierto es una tarea compleja que implica considerar factores técnicos, geométricos y económicos en un contexto en el que diferentes marcas, modelos y tamaños compiten por atraer al usuario. Para el transporte en minas a cielo abierto, los volquetes tipo Volvo 12 FM o similares con capacidad de 15 m³ son recomendados, ya que son ampliamente utilizados en operaciones de movimiento de tierras, así como en minas subterráneas y de tajo abierto.

Capacidad productiva de los equipos

La capacidad productiva de los equipos de carguío y acarreo, es decir, su rendimiento, se determina en función de diversos criterios técnicos y operativos. Estos criterios incluyen aspectos como la eficiencia del equipo, las condiciones del terreno, el diseño del tajo y los tiempos de ciclo, los cuales en conjunto permiten optimizar la productividad en operaciones mineras.

Organización de trabajos de carguío

Se ha diseñado la distribución de tiempos de los equipos con el objetivo de calcular los factores de disponibilidad, necesarios para determinar la capacidad productiva de los equipos y dimensionar la flota de carguío y acarreo para los distintos años de operación del tajo. Este plan se basa en los siguientes criterios:

- Días programados a lo largo de todo el año, incluyendo domingos y feriados.
- Jornadas de trabajo de 12 horas, divididas en dos turnos diarios.
- Esquema de trabajo adaptado a cada guardia.
- Rotación de tres grupos de trabajadores, quienes alternarán cada dos semanas.
- Disponibilidad mecánica proyectada para equipos nuevos y semiusados.
- Cálculo de la capacidad productiva de los equipos de carguío y acarreo.

2.2.3. Características de Excavadoras CAT

Las excavadoras CAT destacan por su alta durabilidad, eficiencia y versatilidad en diversas aplicaciones de movimiento de tierras y minería. Estas máquinas ofrecen potentes sistemas hidráulicos, cabinas ergonómicas, tecnología avanzada de control y monitoreo, así como una amplia gama de tamaños y configuraciones. Su diseño optimiza el rendimiento en tareas de excavación, carguío y acarreo, adaptándose a diferentes condiciones de trabajo y necesidades operativas.

Excavadoras CAT374F

La CAT 374F es una excavadora de gran tamaño diseñada para ofrecer alta productividad en aplicaciones exigentes, como la minería y la construcción pesada.

Esta máquina combina potencia, eficiencia de combustible y durabilidad, con un enfoque en la comodidad y seguridad del operador.

Características principales de la CAT 374F:

Motor eficiente y potente:

- Equipado con un motor CAT C15 ACERT que cumple con las normativas de emisiones, proporcionando alto rendimiento y eficiencia de combustible.
- Potencia nominal de aproximadamente 472 HP, ideal para tareas de gran volumen y condiciones exigentes.

Sistema hidráulico avanzado:

- Sistema hidráulico de alto rendimiento que permite ciclos de trabajo rápidos y control preciso en las operaciones de excavación y carguío.
- Capacidad para mover grandes cantidades de material de manera eficiente, aumentando la productividad.

Estructura robusta:

- Chasis y pluma diseñados para soportar las condiciones más difíciles en minería y construcción pesada.
- Componentes reforzados para garantizar una vida útil prolongada y minimizar el tiempo de inactividad.

Tecnología y monitoreo:

- Sistema de monitoreo en cabina que permite al operador controlar en tiempo real el estado de la máquina, optimizando el rendimiento y mejorando la seguridad.
- Opciones de tecnología CAT como el sistema Product Link™, que proporciona datos para la gestión de la flota y la planificación de mantenimiento.

Comodidad y seguridad del operador:

- Cabina espaciosa, insonorizada y equipada con controles ergonómicos para reducir la fatiga del operador.
- Sistemas de seguridad mejorados, como cámaras de visión trasera y opciones de visibilidad de 360 grados.

Facilidad de mantenimiento:

- Diseño que facilita el acceso a los puntos de servicio y mantenimiento, reduciendo el tiempo de parada y maximizando la disponibilidad operativa.

La CAT 374F es conocida por su fiabilidad y su capacidad para manejar grandes volúmenes de trabajo, lo que la convierte en una elección ideal para proyectos de minería y construcción de gran escala

Figura 4. Excavadora CAT374F.



Nota: En la figura 4 se observa la excavadora CAT374F

Excavadoras CAT349D:

La CAT 349D es una excavadora de tamaño mediano a grande, diseñada para trabajos de construcción pesada y minería. Este modelo combina una gran potencia con eficiencia operativa y un diseño resistente, adecuado para soportar condiciones difíciles y ciclos de trabajo intensivos.

Características principales de la CAT 349D:

Motor y eficiencia:

- Equipado con un motor CAT C13 ACERT que proporciona un excelente rendimiento, cumpliendo con los estándares de emisiones en varias regiones.
- Potencia nominal de alrededor de 404 HP, ideal para tareas que requieren una gran fuerza de excavación y carguío.

Sistema hidráulico potente:

- Sistema hidráulico de alto rendimiento que permite realizar ciclos de trabajo rápidos y precisos, aumentando la productividad en movimientos de excavación y carga.
- Diseñado para reducir el consumo de combustible al ajustar la potencia según la demanda de la operación.

Diseño estructural robusto:

- La CAT 349D tiene una estructura reforzada en la pluma, el balancín y el chasis, que garantiza resistencia y durabilidad en trabajos de alto impacto.
- Componentes de alta calidad que extienden la vida útil del equipo y reducen los costos de mantenimiento.

Tecnología de monitoreo y control:

- Sistema de monitoreo en tiempo real que permite supervisar el estado de la máquina, optimizando el rendimiento y facilitando el mantenimiento.
- Opciones de tecnología de CAT como el sistema Product Link™ para la gestión de datos operativos y el seguimiento de la flota.

Comodidad y seguridad del operador:

- Cabina ergonómica, insonorizada y con excelente visibilidad, diseñada para reducir la fatiga del operador durante largas jornadas de trabajo.

- Incluye opciones de sistemas de seguridad, como cámaras y visibilidad periférica mejorada.

Mantenimiento simplificado:

- Acceso fácil a los puntos de servicio y mantenimiento, lo que minimiza el tiempo de parada y optimiza la disponibilidad del equipo en la operación.
- Componentes diseñados para ser duraderos y requerir menos mantenimiento preventivo.

La CAT 349D es ideal para proyectos de excavación de gran volumen y trabajos en condiciones difíciles, donde se requiere confiabilidad, rendimiento y un bajo consumo de combustible.

Figura 5. Excavadora CAT349D



Nota: En la figura 5 se observa la excavadora CAT349D

Excavadoras CAT336DL:

La CAT 336DL es una excavadora de tamaño mediano que destaca por su equilibrio entre potencia, eficiencia de combustible y tecnología avanzada. Este modelo está diseñado para una amplia variedad de aplicaciones, como construcción, movimiento de tierras y minería ligera, siendo ideal para tareas de excavación y carguío en terrenos exigentes.

Características principales de la CAT 336DL:

Motor eficiente:

- Equipada con un motor CAT C7.1, que cumple con los estándares de emisiones y ofrece un rendimiento confiable.
- Potencia nominal de aproximadamente 311 HP, lo que permite realizar tareas intensivas de manera eficiente.

Sistema hidráulico de alto rendimiento:

- Sistema hidráulico avanzado, que proporciona un control preciso y permite realizar ciclos de trabajo rápidos, aumentando la productividad en cada operación.
- Incluye un modo de ahorro de combustible que ajusta la potencia hidráulica según la demanda de trabajo, optimizando el consumo de combustible.

Estructura y durabilidad:

- La estructura reforzada del chasis, pluma y brazo proporciona resistencia para soportar condiciones de trabajo exigentes.
- Componentes diseñados para una vida útil prolongada, con un diseño resistente al desgaste y adecuado para operaciones de alto impacto.

Tecnología avanzada:

- Incluye tecnología CAT, como el sistema Cat Grade para excavación 2D o 3D, lo que mejora la precisión del trabajo y reduce la necesidad de controles manuales.
- Sistema de telemetría Product Link™, que permite supervisar el estado del equipo, controlar el consumo de combustible y programar el mantenimiento preventivo.

Confort y seguridad para el operador:

- Cabina espaciosa y ergonómica, con controles intuitivos y asientos ajustables, diseñada para reducir la fatiga y mejorar la comodidad durante largas jornadas.
- Cuenta con medidas de seguridad avanzadas, como cámaras de visión trasera y opciones de visibilidad de 360 grados para un control total del entorno de trabajo.

Facilidad de mantenimiento:

- Diseño que permite un fácil acceso a los puntos de mantenimiento diarios y programados, minimizando el tiempo de parada.
- Filtros y componentes de larga duración, que reducen la frecuencia de mantenimiento y los costos operativos.

La CAT 336DL es conocida por su versatilidad y fiabilidad en proyectos de construcción y minería ligera, ofreciendo un rendimiento eficiente, bajo consumo de combustible y tecnología avanzada para maximizar la productividad en el sitio de trabajo

Figura 6. Excavadora CAT336DL.



Nota: En la figura 6 se observa la excavadora CAT336DL

2.2.4. Técnica para mejora en rendimientos de equipos

El Ciclo PHVA, también conocido como "Círculo de Deming," fue promovido por el Dr. William Edwards Deming, quien fue uno de los pioneros en utilizar este enfoque lógico para impulsar la mejora de la calidad.

Este ciclo, basado en un concepto desarrollado por Walter A. Shewhart, representa una estrategia de mejora continua dividida en cuatro pasos. También es conocido como la espiral de mejora continua y es ampliamente utilizado en diversos sistemas de gestión organizacional para controlar aspectos de calidad (ISO 9000), medio ambiente (ISO 14000), salud y seguridad ocupacional (OHSAS 18000), e inocuidad alimentaria (ISO 22000).

Entre las herramientas que apoyan la mejora y la resolución de problemas destacan: el brainstorming, los cinco porqués, la reingeniería, las 7 herramientas de la calidad, las 7 nuevas herramientas, y el Ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar). Este ciclo de planificación, ejecución, control y actuación sirve como una guía estructurada y sistemática para implementar la mejora continua y resolver problemas de manera efectiva en un proyecto.

- a) **Calidad:** Los requisitos de calidad en el mercado actual varían y evolucionan junto con el avance tecnológico. Cada vez es más necesario optimizar los procesos para satisfacer las necesidades cambiantes de los clientes. Dado que las demandas de los consumidores están en constante transformación, es evidente que la mejora continua de los procesos es fundamental.
- b) **Ciclo PHVA:** Este método de gestión de toma de decisiones ayuda a asegurar el logro de objetivos esenciales para la supervivencia de una organización. Existen dos tipos de metas dentro de este ciclo: metas de mantenimiento y metas de mejora. Las metas de mantenimiento, o metas estándar, se alcanzan mediante la aplicación de operaciones estandarizadas.

Por otro lado, las metas de mejora no se ajustan a un estándar fijo y suelen establecerse con un plazo determinado para su cumplimiento.

El PHVA proporciona un enfoque estructurado para evitar decisiones equivocadas y promover soluciones óptimas, priorizando los datos por encima de preferencias personales o egos. Las siglas PDCA, del inglés Plan, Do, Check, Act, corresponden en español a Planificar, Hacer, Verificar y Actuar.

Este ciclo se interpreta de manera sencilla: primero se planifica cómo alcanzar el objetivo deseado, luego se ejecutan las acciones planeadas (hacer), después se revisa el resultado (verificar) y, finalmente, se realizan los ajustes necesarios para evitar repetir errores (actuar). A partir de aquí, el ciclo se reinicia integrando las mejoras obtenidas de la experiencia anterior, con las siguientes etapas detalladas a continuación:

Figura 7. Ciclo PHVA - 2015.



Nota: En la figura 7 se observa el ciclo PHVA-2015

El Ciclo PHVA se organiza en 4 etapas principales:

Etapas del PHVA

Este ciclo se orienta a encontrar soluciones óptimas, y sus siglas en inglés, PDCA, representan las fases Plan (Planificar), Do (Hacer), Check (Verificar), y Act (Actuar):

- a) **P - Planificar:** Antes de iniciar cualquier proceso, es fundamental planificar, estableciendo el objetivo (meta) y el método a seguir. Esta fase es clave en la gestión, aunque suele pasarse por alto en favor de la acción inmediata debido a la presión de los plazos diarios. En nuestra cultura, se suele priorizar el hacer sobre el planificar, lo cual conduce a la paradoja: no planificamos por falta de tiempo, y no tenemos tiempo porque no planificamos. Para lograr un plan sólido y el compromiso de todos, es esencial una planificación participativa.
- b) **D - Ejecutar:** Consiste en implementar el proceso, cuidando de registrar los datos necesarios para un control posterior. En esta fase, la capacitación y la educación son esenciales, al igual que el registro de datos, que debe integrarse como parte de la tarea y no verse como algo adicional.
- c) **C - Verificar:** En esta fase de monitoreo y evaluación, se comparan los resultados obtenidos con los objetivos y métodos establecidos, registrando cualquier desviación o problema encontrado. Evaluar y monitorear durante el proceso es un hábito que debe fomentarse, en lugar de hacerlo solo al final de las tareas, como suele ser común.
- d) **A - Actuar (Correctivamente):** Esta etapa implica definir y aplicar soluciones a los problemas detectados para mejorar el proceso. Si un problema resurge tras una acción, esto indica que se actuó de manera paliativa en lugar de correctiva.

El Ciclo PHVA es un método sencillo que puede emplearse tanto para mantener como para mejorar los resultados de un proceso. Cuando el proceso está estabilizado, el ciclo contribuye a la conservación de resultados. Sin embargo, si el proceso muestra problemas que deben resolverse para mejorar los resultados, se utiliza como un Método para Análisis y Solución de Problemas (MASP).

Figura 8. Flujograma del Ciclo PDCA.

PDCA	FLUJOGRAMA	FASE	OBJETIVO
P	1	Identificación del problema	Definir claramente el problema reconocer su importancia
	2	Observación	Investigar las características específicas del problema con una visión amplia y de varios puntos de vista
	3		Descubrir las causas fundamentales
	4	Plan de acción	Elaborar un plan para bloquear las causas fundamentales
D	5	Acción	Bloquear las causas fundamentales
C	6	Verificación	Verificar si el bloqueo ha sido efectivo
			
A		Estandarización	Prevenir contra la reincidencia del problema
	8	Conclusión	Recapturar todo el proceso de solución del problema para trabajo futuro

Nota: En la figura 8 se observa el flujograma del ciclo PDCA.

Etapas del Ciclo PHVA en la Gestión de la Calidad - ISO 9000

- Planificar: Definir los objetivos y procesos necesarios para alcanzar los resultados deseados, enfocados en el logro del resultado esperado en lugar de centrarse solo en la precisión de la especificación, diferenciándose así de otras técnicas de mejora.
- Hacer: Implementar los nuevos procesos, preferiblemente a pequeña escala para realizar ajustes necesarios.
- Verificar: Tras un período establecido, recopilar y analizar datos de control, comparándolos con los objetivos iniciales para evaluar si se logró la mejora esperada. Es importante documentar las conclusiones obtenidas.
- Actuar: Ajustar los procesos según los resultados de la verificación, con el objetivo de cumplir los objetivos iniciales. Si se encuentran errores, aplicar nuevas mejoras y documentar el proceso actualizado.

Etapas del Ciclo PHVA en la Gestión Ambiental - ISO 14000

- Planificar: Establecer objetivos y procesos que permitan cumplir con la política ambiental de la organización.
- Hacer: Implementar los procesos definidos en la planificación.

- Verificar: Monitorear y medir los procesos en relación con la política ambiental, objetivos, metas y requisitos legales, documentando los resultados obtenidos.
- Actuar: Tomar medidas para mejorar continuamente el desempeño ambiental del sistema de gestión.

Etapas del Ciclo PHVA en la Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional - OHSAS 18000

- Planificar: Definir los objetivos y procesos necesarios para alcanzar los resultados alineados con la política de seguridad y salud ocupacional (SySO) de la organización. Esto incluye la identificación de peligros, evaluación de riesgos, requisitos legales, y el establecimiento de objetivos y programas.
- Hacer: Implementar los procesos, asignando los recursos necesarios y estableciendo responsabilidades, capacitaciones, comunicación y control de documentos, así como la preparación para emergencias.
- Verificar: Realizar un seguimiento y medir los procesos en función de la política SySO, evaluando el cumplimiento de objetivos, metas y requisitos legales. Esto incluye la medición de incidentes, auditorías internas y acciones correctivas y preventivas.
- Actuar: Implementar acciones para mejorar el desempeño del sistema de gestión de SySO de manera continua, y realizar una revisión por la Dirección para asegurar el progreso

Figura 9. PHVA en SSO – OHSAS 18000.



Nota: En la figura 9 se observa el PHVA en SSO – OHSAS 18000.

Ciclo PHVA en Información Tecnológica - ISO 27001

- **Planificar:** En esta etapa se realiza la planificación tecnológica, el análisis de riesgos, la validación de medidas de control, y se establecen tanto el Plan HACCP como los PPR operativos.
- **Hacer (Do):** Se implementan los procesos definidos, incluyendo la asignación de recursos y responsabilidades, formación y concientización del personal, comunicación y participación, y el control de documentos y de operaciones.
- **Verificar (Check):** Se lleva a cabo el monitoreo y la medición de los procesos en relación con la política de Inocuidad, los objetivos, las metas y los requisitos legales, informando los resultados obtenidos. Esta etapa incluye la medición, seguimiento, evaluación del cumplimiento, investigación de incidentes, resolución de no conformidades, acciones correctivas y preventivas, control de riesgos y auditorías internas.

- **Actuar (Act):** Se implementan acciones para mejorar continuamente el desempeño del sistema de Inocuidad, con una revisión por parte de la Dirección. La mejora continua se logra solo a través de la práctica constante.

2.3. Definición de términos básicos

Acarreo:

Proceso en el cual los equipos transportan materiales recorriendo distancias cortas desde el punto de carga hasta el de descarga.

Banco:

Corte en el cual se observan dos caras expuestas: una horizontal en la parte superior y una lateral vertical. La altura del banco, en este caso 8 metros, es la distancia entre estos niveles.

Berma:

La superficie superior del banco, utilizada para carga y circulación de camiones. Es un borde horizontal dejado para retener derrames de material, con un ancho generalmente entre 8 y 12 metros.

Carguío:

Proceso en el que el material fragmentado es limpiado y trasladado mediante excavadoras, cargadores y otros equipos hacia el sistema de acarreo.

Depósitos de desmonte: Espacios destinados para almacenar el material estéril extraído de minas a cielo abierto y residuos de pilas de lixiviación.

Depósitos de material estéril:

Áreas para almacenar grandes volúmenes de material sin valor económico, pero útil para actividades auxiliares de explotación.

Flota Óptima Operativa:

Número de equipos de acarreo asignados por excavadora o frente de trabajo, determinado de manera dinámica según el controlador.

Flota:

Cantidad de camiones operativos en un área de carguío o acarreo.

Frentes de trabajo:

Áreas designadas para extraer material, generalmente tras voladuras, donde el material está listo para ser retirado o transportado.

Mejoramiento de ciclos de acarreo:

Optimización de los tiempos de acarreo y la carga, aumentando la producción diaria del material.

Mejoramiento de ritmos de producción:

Incremento de la producción con menores costos, aprovechando al máximo los recursos disponibles.

Mina a cielo abierto:

Mina cuya extracción se realiza mediante excavación en la superficie, adaptándose su geometría a las características del depósito.

Minar:

Clasificación y carga del material, así como el transporte desde los puntos de fragmentación tras la voladura.

Tiempo de ciclo de la excavadora:

Tiempo que tarda una excavadora en cargar y colocar una cuchara de material en un camión.

Primer Pase:

El primer pase es el concepto de la primera cucharada servida de la pala al volquete, es notablemente diferente al resto de los pases ya que sus tiempos de carga y giro cargado dependen en cierto nivel del tiempo que demora en cuadrar el volquete es por ello que se tiene un indicio de que su análisis debe ser por separado.

Pase estándar:

El pase estándar es referido a todo pase que no sea el primero, un pase comprende el ciclo de carguío por completo (definición estándar), y la duración de cada parte de este ciclo es independiente de variables externas.

Hora de inicio:

La base de datos y la toma de estos tienen como medida un pase y la duración de todos los componentes de su ciclo, este campo corresponde a la hora en que inicia la carga del primer pase, todos los pases que correspondan al llenado del mismo volquete (o el mismo viaje) tendrán el mismo valor.

Tipo de improductivo:

En la toma de datos se consideró seleccionar el tipo de actividad que hace la pala mientras espera la llegada de otro volquete o en consideración general que hace la pala entre el servicio de un volquete a otro (este o no esperando), se optó por considerar 4 actividades diferentes, sin embargo, no todas corresponden a tiempos improductivos, esto es definido posteriormente en las definiciones de carguío, las actividades consideradas fueron:

- **Espera – No operativa:** Esta actividad esta referida netamente cuando la pala no cumple las actividades del ciclo de carguío, se considera espera a todo aquel tiempo que no sea parte del ciclo de carguío, perfiladoacomodamiento, atención mecánica o traslado a otro punto de extracción, la espera es una consecuencia ya que depende de la asignación de volquetes mientras menor sea el número de volquetes asignados mayor será la espera.
- **Perfilado – Acomodamiento de frente:** El perfilado o acomodamiento de frente de carga es una actividad continua en cada pase, es tan común y sucede en cada carga de volquete que se opta por considerarlo como parte del ciclo de carguío, hay que tener en consideración que si la pala tiene tiempo libre (por espera de volquetes) comenzara a perfilar su frente de extracción, sin embargo esta acción (cuando no hay volquetes y la pala perfila su frente) se considera Espera -No

operativa ya que es consecuencia de la falta de asignación a la pala, si se consideraría esta acción como acomodamiento entonces habría mucho sesgo en un análisis estadístico y se crearía una dependencia a la variables de asignación de flota.

- **Atención Mecánica:** A lo largo de la guardia es usual que la pala tenga algún inconveniente mecánico no programado, en caso de que estos problemas no sean solucionados en tiempos inoperativos, son considerados en este campo.
- **Traslado de un punto a otro:** En la operación de extracción de mineral son programados por día varios polígonos, esto hace que la pala al terminar los viajes programados de uno de ellos se mueva y se ubique para la extracción de otro, caso similar en el desmonte (donde la extracción depende del plan de desmonte y de la necesidad operativa de liberar zonas o polígonos), todas estas demoras por reubicación son consideradas en este campo.

Tiempo de carguío:

El tiempo de carguío es la sumatoria de la duración de todos los pases que se requiere para llenar un volquete, sin embargo, a este valor se le añadirá el tiempo de acomodamiento ya que como fue conceptualizado previamente debido a su continuidad no se puede separar de la medida.

Volquetes en ciclo:

Es referido a los volquetes que son asignados a una pala, van y vuelven a ser servidos continuamente por la misma pala.

Duración del primer pase:

$$DPP = PP1 + PP2 + PP3 + PP4$$

$$DPP = \text{Duracion del primer pase (min)}$$

$$PP1 = \text{Tiempo de carga del primer pase (s)}$$

$$PP2 = \text{Tiempo de giro cargado del primer pase (s)}$$

$$PP3 = \text{Tiempo de descarga del primer pase (s)}$$

$PP4 = \text{Tiempo de giro descargado del primer pase (s)}$

Duración de un pase estándar: D

$$PE = PE1 + PE2 + PE3 + PE4$$

$DPE = \text{Duracion del primer estadar (min)}$

$PE1 = \text{Tiempo de carga de pase estandar (s)}$

$PE2 = \text{Tiempo de giro cargado de pase estadar (s)}$

$PE3 = \text{Tiempo de descarga de pase estandar (s)}$

$PE4 = \text{Tiempo de giro descargado de pase estandar (s)}$

Duración del ciclo de carguío:

$$DCC = A + DPP + (\#P - 1) \cdot DPE$$

$DCC = \text{Duracion total del ciclo de carguio (min)}$

$A = \text{Tiempo de acomodamiento o perfilado (s)}$

$\#P = \text{Numero de pases para llenar el volquete}$

Producción por viaje:

$$PV = CT \cdot Dens \cdot Fw \cdot F \cdot LL.T$$

$PV = \text{Produccion por viaje (ton)}$

$CT = \text{Capacidad de tolva en volumen (m3)}$

$F \cdot LL.T = \text{Factor de llenado de tolva (\%)}$

$Dens = \text{Densidad de la roca (ton/m3)}$

$Fw = \text{Factor de esponjamiento (\%)}$

Debido a que la balanza no estuvo operativa en el tiempo de medición, se utilizaron supuestos para hallar valores de productividad, entre ellos que el factor de llenado de la tolva es de 90%. Así también el valor de esponjamiento fue proporcionado por el área de planeamiento y cuyo valor es de 76%, sin embargo, para un estudio más selectivo se debería considerar un valor de esponjamiento para cada litología.

Factor de llenado de cuchara:

$$F. LL.C = PV \#P . CC . Fw . Dens$$

$F. LL.C$ = Factor de llenado de cuchara (%)

$\#P$ = Numero de pases para llena la tolva

CC = Capacidad de cuchara en volumen (m³)

$F. LL.C$ = Factor de llenado de cuchara (%)

Tiempo stand by (porcentaje de día medido):

$$TSBc = Ttp + TEX$$

$$TEX = TT - Tp - TI - Ttp - TM$$

$$Tp = \sum DCC$$

$TSBc$ = Tiempo total stand by en carguio (h)

TT = Tiempo total medido (h)

Tp = Tiempo productivo (h)

TI = Tiempo improductivos (solo considerado a espera) (h)

Ttp = Tiempo de traslado de un punto a otro (h)

TM = Tiempo de paradas mecanicas prog o no prog (h)

TEX = Tiempo extra de medicion (h)

Eficiencia de carguío (por día):

$$EffC = TP TT$$

$EffA$ = Eficiencia de carguio por dia (%)

TT = Tiempo total medido (h)

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La comparación de la eficiencia de los equipos de carguío influye significativamente en la mejora de la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. La Identificación de los factores que afectan a los equipos de carguío en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.
- b. La mejora en el proceso de carguío incrementará significativamente al utilizar la herramienta PDCA en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variables independientes

Eficiencia de los Equipos de Carguío.

2.5.2. Variables dependientes

Mejorar la Producción.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
V. Independiente Eficiencia de los Equipos de Carguío.	Equipo de carguío, presenta alto nivel de producción, mayor rendimiento y fiabilidad, durabilidad mejorada, mayor productividad.	El equipo de carguío CAT es una maquinaria pesada diseñada específicamente para cargar grandes volúmenes de material en operaciones mineras y de construcción	Operación óptima del equipo.	Número de pases de la excavadora
			Número de pases de la por carguío	Deficiencia del equipo
V. Dependiente Mejorar la Producción.	La eficiencia de los equipos es hacer las cosas correctamente, resolver problemas, ahorrar gastos, cumplir con el plan programado en la empresa.	La mejora de la producción implica optimizar los procesos para aumentar la cantidad y calidad de productos generados en una operación, reduciendo costos y tiempo. Se enfoca en la eficiencia del uso de recursos, tecnología y gestión del trabajo. Este enfoque permite a las empresas cumplir con la demanda de manera más competitiva y sostenible	Costo de pérdida generado por carguío al equipo	\$ / h
			Eficiencia del equipo	Utilizar la herramienta de PDCA

Nota: En la tabla 1 se observa la operacionalización de variables

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicativo, ya que se centra en analizar las operaciones de producción (carguío) y en evaluar el rendimiento de los equipos de carguío del modelo CAT. Su diseño es no experimental, abordando el problema directamente en su contexto real. Además, se busca definir la distribución óptima de herramientas que permita analizar simultáneamente las variables, evaluando la influencia de cada una en el resultado final (Arias, 2012).

3.2. Nivel de investigación

Según la naturaleza del estudio, esta investigación se caracteriza por tener un enfoque explicativo y descriptivo, que luego avanza a un nivel comparativo. Describe las características del problema en una operación minera, examina los factores que afectan el proceso y emplea el análisis PHVA para encontrar soluciones (Tamayo, 2001).

3.3. Métodos de investigación

En esta investigación se emplearán el método analítico, la observación y el método teórico, combinando enfoques inductivos y deductivos mediante análisis y síntesis. Esto permitirá identificar los factores que afectan a los equipos del modelo

CAT y proponer soluciones, así como establecer correlaciones y desarrollar una malla descriptiva de los procesos (Supo y Supo, 2012).

3.4. Diseño de investigación

El enfoque de la investigación es principalmente cuantitativo, ya que presentará resultados numéricos que facilitarán la toma de decisiones. Además, se llevará a cabo un diseño descriptivo para evaluar el estado actual de la operación minera, identificar los puntos deficientes y determinar cómo un control de flota puede optimizar la producción (Reyes, 2022).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población en una investigación corresponde al conjunto de elementos con características comunes que son objeto de análisis, y cuya correcta definición permite obtener resultados válidos y generalizables (Sampieri y Torres, 2023).

Establecida por los 08 equipos de carguío del proceso de producción de operaciones superficie en la Unidad Minera Atacocha S.A.A. – Nexa Resources.

N°	EQUIPOS	MODELOS
1	RE-20	EXCAVADORA CAT 385C
2	RE-27	EXCAVADORA CAT 374F
3	RE-40	EXCAVADORA CAT 349D
4	RE-391-AL	EXCAVADORA CAT 336DL
5	RE-563-AL	EXCAVADORA MARTILLO HYUNDAI
6	RE-694-AL	EXCAVADORA CAT 336DL
7	RE-695-AL	EXCAVADORA MARTILLO CAT 336DL
8	RE-655-AL	EXCAVADORA CAT 336DL

3.5.2. Muestra

La muestra se define como un subconjunto representativo de la población, que permite al investigador analizar ciertas características sin estudiar a todos los elementos, lo que facilita la obtención de conclusiones generalizables (Sampieri y Torres, 2023).

La estrategia que se utilizó para la selección de la muestra fue la selección de muestra puntual; se tomaron 02 excavadoras de carguío modelo CAT374F y

CAT349D del proceso de producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

El presente estudio emplea el método de observación directa, utilizado para examinar y analizar la información recolectada mediante la recopilación de datos. Esta técnica implica observar de manera atenta los eventos, conductas y situaciones relevantes en el entorno de estudio. Gracias a este enfoque, el investigador puede obtener una perspectiva integral y contextualizada del fenómeno analizado, lo que facilita la identificación de patrones, tendencias y relaciones significativas.

3.6.2. Instrumento:

Para este estudio se han empleado diversos instrumentos de recolección de datos, entre ellos los reportes de capacidades de carguío. Estos documentos tienen como finalidad principal proporcionar información detallada sobre las actividades registradas, los hallazgos detectados y otros aspectos relevantes para el análisis de los resultados. Los reportes de carguío reúnen datos específicos sobre el estado y las condiciones evaluadas. Su análisis permite una mejor comprensión de la situación o problemática abordada, facilita la identificación de patrones o tendencias, y contribuye a la toma de decisiones fundamentadas en la evidencia. Asimismo, estos informes pueden utilizarse como base para futuras investigaciones o para implementar medidas correctivas.

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

Selección de datos.

Con la finalidad de asegurar la confiabilidad de los instrumentos utilizados, se realizaron pruebas con los equipos CAT374F y CAT349D, elaborando un informe detallado sobre su desempeño. Luego, los datos obtenidos fueron evaluados mediante un análisis estadístico de fiabilidad utilizando el coeficiente Alfa de

Cronbach, cuyos resultados indicaron un nivel de fiabilidad clasificado como aceptable y bueno.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

La presente investigación inició con la recopilación y tabulación de datos, empleando para ello el software estadístico SPSS versión 27. En la etapa de análisis, se aplicará un enfoque tanto descriptivo como inferencial, y los resultados serán presentados mediante el uso de tablas y gráficos estadísticos que faciliten su interpretación (Box, 2008).

3.9. Tratamiento estadístico

Se optará por el uso de Microsoft Excel, ya que facilita el procesamiento y análisis de diversas variables, entre las cuales se incluyen:

- La digitalización de la información recolectada.
- El procesamiento de los datos obtenidos en campo.
- La elaboración de tablas y gráficos con frecuencias y porcentajes.
- La redacción del informe final de la investigación.
- La presentación del informe final de manera estructurada.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Durante el desarrollo de la investigación, se aplican los procedimientos adecuados respetando los principios éticos que rigen el trabajo académico y científico. Se garantiza en todo momento la adecuada citación y reconocimiento de las fuentes de información utilizadas, evitando cualquier forma de plagio. Asimismo, se promueve la transparencia, la honestidad intelectual y el respeto por los derechos de los autores y participantes involucrados en el estudio.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

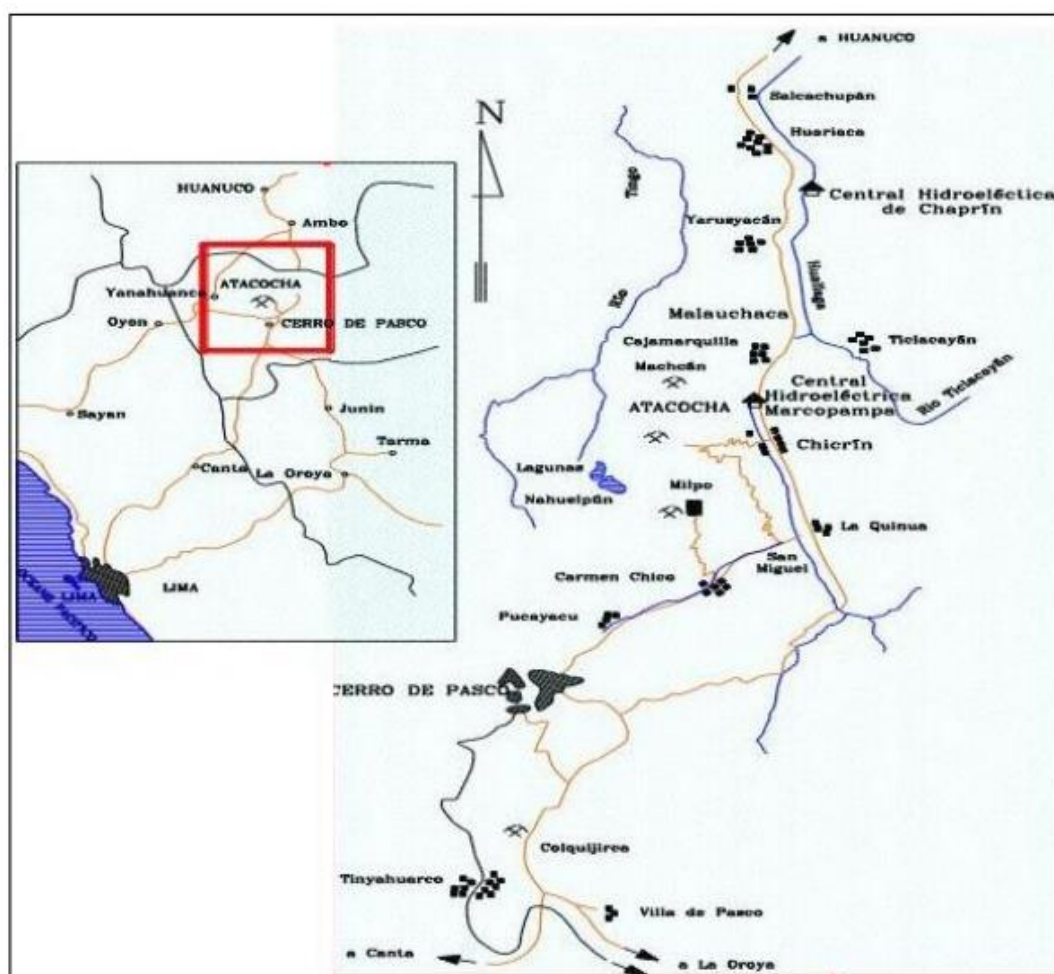
4.1. Descripción del trabajo de campo

Nexa Atacocha, fundada en 1936, se dedica a la extracción, concentración y venta de minerales polimetálicos como zinc, cobre y plomo. En 2008, Nexa Perú adquirió el control de Atacocha, que se integró en 2013 con la unidad El Porvenir, formando el Complejo Minero Pasco. Parte del Grupo Nexa, la empresa opera cinco minas, tres en Perú y dos en Brasil, y es uno de los mayores productores de zinc mundial. Además, cuenta con tres fundiciones de zinc en Perú y Brasil, produciendo zinc metálico, óxido de zinc y subproductos. En 2018, los ingresos netos fueron de 2.5 mil millones de dólares, y para 2023, la producción de zinc equivalente fue de 31 mil toneladas.

4.1.1. Ubicación de la Unidad Minera

El complejo está ubicado en el distrito de San Francisco de Yarusyacán, en la provincia y departamento de Pasco, Perú, con coordenadas UTM promedio de N 8'831,1009 y E 367,565. Esta ubicación estratégica en los Andes centrales facilita el acceso a ricos yacimientos minerales y a una infraestructura clave para la explotación y transporte de minerales.

Figura 10. Mapa de localización de la Unidad Minera Atacocha



Nota: En la figura 10 se observa el mapa de localización de la unidad minera Atacocha

4.1.2. Accesibilidad

El acceso a la Unidad Minera Atacocha de Nexa Resources, que incluye el tajo San Gerardo, se encuentra en el distrito de San Francisco de Yarusyacán, en la provincia y departamento de Pasco. Esta localización estratégica en los Andes centrales permite un acceso eficiente a la unidad minera, facilitando la explotación de los recursos polimetálicos de la zona. a) Ruta a través de la vía Río Seco.

Tabla 2. Accesibilidad.

RUTA	DIST. (Km)
Lima_Chosica	8.40
Chosica_Oroya	145.90
Oroya_Junín	65.40
Junín_Colquijirca Colquijirca_Chicrín	60.20
Chicrín_Tajo San Gerardo	38.10
	4.20
TOTAL	332.20

Nota: En la tabla 2 se observa la accesibilidad

4.1.3. Clima

La región presenta un clima frío y seco típico de la sierra peruana, con precipitaciones, incluyendo lluvias, granizo y nieve, que ocurren durante cerca de cuatro a cinco meses al año. Las temperaturas oscilan entre 5 y 25 °C, tanto en el día como en la noche, con una temperatura promedio anual de 11.5 °C.

4.1.4. Topografía

La topografía de la zona se caracteriza por relieves ascendentes que alcanzan alturas de hasta 4,500 metros. En la superficie, se distinguen tres áreas morfológicas bien definidas: la puna, la región de cordillera y los valles periglaciales.

4.1.5. Geología

Geología Regional

El depósito mineralizado se encuentra en los Andes Centrales del Perú y está conformado, en términos geológicos, por una variedad de rocas metamórficas, sedimentarias e intrusivas, separadas por discordancias producto de procesos erosivos. La secuencia estratigráfica regional incluye el Grupo Mitu, el Grupo Pucará, la Formación Goyllarisquizga y la Formación Pocobamba, observados en distintas ubicaciones junto con intrusiones de diferentes edades (11-15 Ma y 25-30 Ma).

Estas intrusiones se localizan en dos corredores estructurales: el occidental, desde Cerro de Pasco hasta Colquijirca en la meseta de Junín, y el oriental, que

abarca desde Milpo hasta Atacocha, orientándose hacia los valles amazónicos en la vertiente este.

Geología Local

En la región de Atacocha, predominan principalmente afloramientos de rocas clásticas y sedimentarias de la era Mesozoica, depositadas en la cuenca de Pucará. También son frecuentes los afloramientos de rocas subvolcánicas de la época Terciaria, conocidas como pequeños stocks.

Geología Estructural

En una sección geológica, al observar las relaciones de los cortes, es posible identificar una serie de eventos que ocurrieron tras las intrusiones porfídicas. El modelo ilustrado en la siguiente imagen puede interpretarse como resultado de la segregación de fluidos hidrotermales de origen magmático, que se originaron en varios puntos correspondientes a apófisis ubicadas en la cima de una amplia cámara magmática

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Base de datos de carguío (BD_CARGUIO)

A base de datos de carguío fue tomada en diferentes y reiterativos días, comprende una considerable cantidad de elementos y campos para su análisis selectivo y en conjunto, a continuación, solo se conocerán numéricamente de cuantos datos se disponen según cada una de las características de los campos recopilados, porque el backup contiene más de 161 000 datos para el análisis.

Tabla 3. *Cantidad de datos registrados (BD_CARGUIO).*

	Cantidad de datos (Pases)	Cantidad de datos (Viajes)
Cantidad de datos	7285	1119

Nota: En la tabla 3 se observa la cantidad de datos registrados (BD_CARGUIO)

Tabla 4. Cantidad de datos por Equipos de Carguío (BD_CARGUIO).

Equipo	Cantidad de datos (Pases)	Cantidad de datos (Viajes)
CAT349D	4340	578
CAT374F	2945	541

Nota: En la tabla 4 se observa la cantidad de datos por equipos de Carguío (BD_CARGUIO)

Tabla 5. Cantidad de datos por Unidad Geológica (BD_CARGUIO).

Unidad Geológica	Cantidad de datos (Pases)	Cantidad de datos (Viajes)
Caliza, Mármol, Brecha	6401	849
Arenisca, Dacita, Pórfido	211	15
Dacita, pórfido feldespático	253	46
Arenisca, Limolita, Conglomerado	420	209

Nota: En la tabla 5 se observa la cantidad por unidad Geología (BD_CARGUIO)

Tabla 6. Cantidad de datos por Banco (BD_CARGUIO).

Banco	Cantidad de datos (Pases)	Cantidad de datos (Viajes)
4246	5643	851
4252	455	95
4256	109	16
4318	513	88
4324	565	69

Nota: En la tabla 3 se observa la cantidad de datos por banco (BD_CARGUIO)

Tabla 7. Cantidad de datos por Equipos de Acarreo (BD_CARGUIO)

Cap. Volquete	Cantidad de datos (Pases)	Cantidad de datos (Viajes)
15	66	14
20	4056	652
22	534	71
24	2629	382

Nota: En la tabla 7 se observa la cantidad de datos por Equipos de Acarreo (BD_CARGUIO)

Tabla 8. Cantidad de datos por Tipos de Improductivos (BD_CARGUIO).

Improductivo	Cantidad de datos
Perfilado-Acomodo de frente	653
Espera-NO OPERATIVO Traslado	429
de un punto a otro Atención -	31
Mecánica	5

Nota: En la tabla 3 se observa la cantidad de datos por tipos de improductivos (BD_CARGUIO)

La base de datos de carguío comprende una cantidad suficientemente grande para un análisis estadístico apropiado, además, los datos de duración de cada actividad del “ciclo de carguío” son independientes de variables externas, esto favorece a la metodología a implementar en el tratamiento de toda la data correspondiente.

4.2.2. Reporte de Análisis de Carguío con Equipos CAT374F y CAT349D

Análisis General de Carguío # 1

Tabla 9. Reporte de Carguío – Prueba 01

Generalidades			
Fecha	10/02/2024	Capacidad (m3)	3.5
Hora inicio	07:23:17	Fase	02
Hora fin	18:01:46 Dia	Banco	4246 - 4252
Turno	Excavadora	Material	Mineral – Desmonte
Equipo	CAT349D	Unidad Geológica	UG-03 (Caliza, Mármol)
Modelo		Peso Específico	26.6
		(kN/m3)	

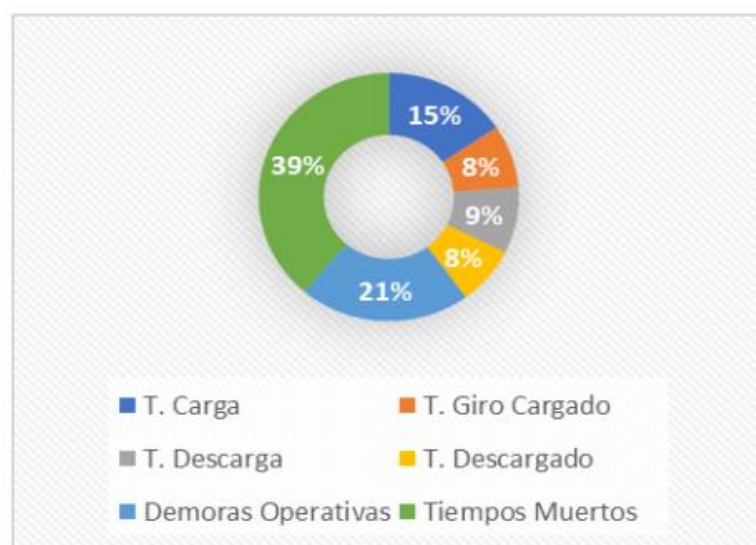
Nota: En la tabla 9 se observa el reporte de carguío – prueba 01

Tabla 10. Resultados de Carguío – Reporte de Prueba 01.

Resultado de Tiempos	
T. Carga	01:39:39
T. Giro Cargado	00:52:44 T.
T. Descarga	00:55:25
T. Giro Descargado	00:48:22
Demoras Operativas	02:17:06
Tiempos Muertos	04:08:40
Ciclo efectivo	04:16:10
Ciclo total	10:41:56

Nota: En la tabla 10 se observa los resultados de carguío – reporte de prueba 01

Figura 11. Gráfico de Distribución de Tiempos – Reporte de Prueba 01.



Nota: En la figura 11 se observa el grafico de distribución de tiempos – reporte de prueba 01.

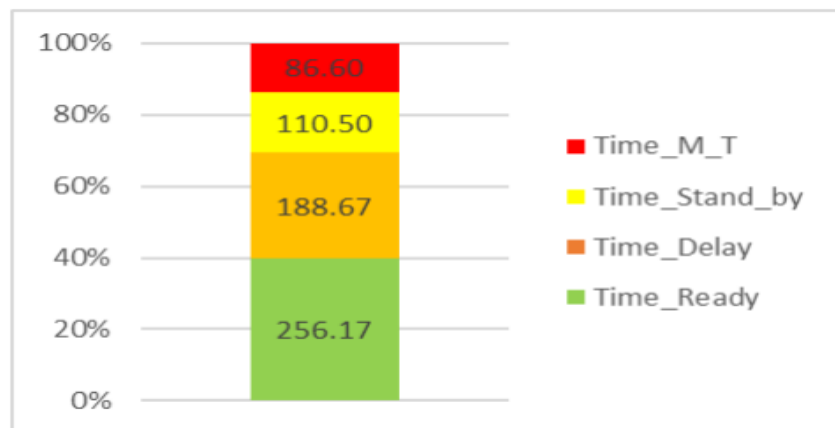
En la figura 11 se aprecia que los tiempos improductivos, comúnmente denominados tiempos muertos, representan la proporción más significativa dentro de la jornada laboral. Este comportamiento evidencia una gran oportunidad importante de mejora en la gestión del tiempo y en la optimización de los procesos operativos.

Tabla 11. Rendimientos – Reporte de Prueba 01.

Factor de Carga		Pases Promedio
Promedio		
VQ 20 tn	70.37%	7.37
VQ 22 tn	67.42%	8.50
VQ 24 tn	63.76%	9.78
Rendimientos		
Time_Ready	min	256.17
Time_Delay	min	188.67
Time_M_T	min	86.60
Time_Stand_	min	110.50
Uso (Use)	%	57.59
Disponibilidad	%	86.51

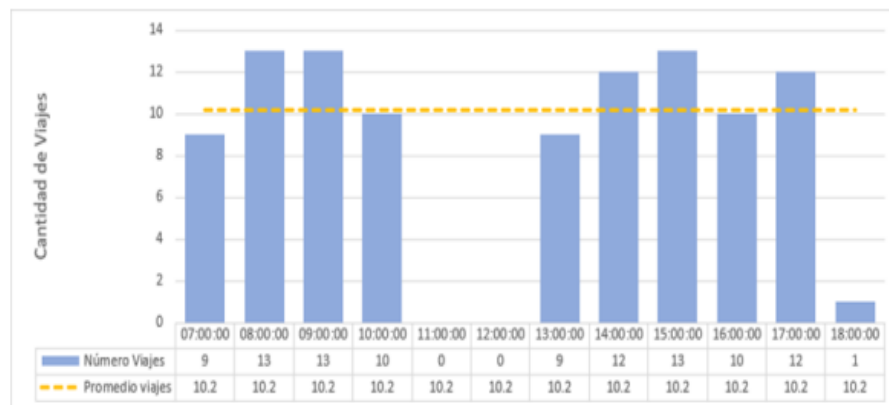
Nota: En la tabla 11 se observa los rendimientos – reporte de prueba 01.

Figura 12. Gráfico de Rendimientos – Reporte de Prueba 01.



Nota: En la figura 12 se observa el gráfico de rendimientos – reporte de prueba 01

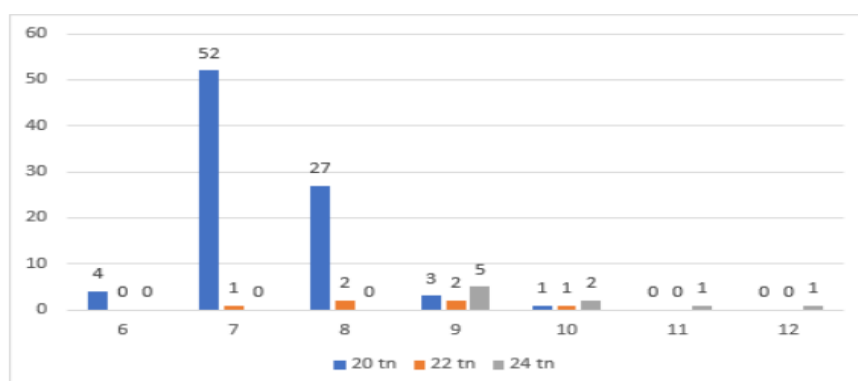
Figura 13. Gráfico de Número de Viajes por Hora – Reporte de Prueba 01.



Nota: En la figura 13 se observa el grafico de numero de viajes por hora – reporte de prueba 01

La figura 13 muestra la cantidad específica de volquetes (viajes) que la excavadora cargó en cada hora del turno. Además, se incluye una línea de Pareto que ilustra el promedio de volquetes cargados por hora, lo cual permite identificar visualmente las horas de mayor y menor rendimiento operativo, facilitando así el análisis de eficiencia y la toma de decisiones para posibles mejoras en la planificación de las actividades.

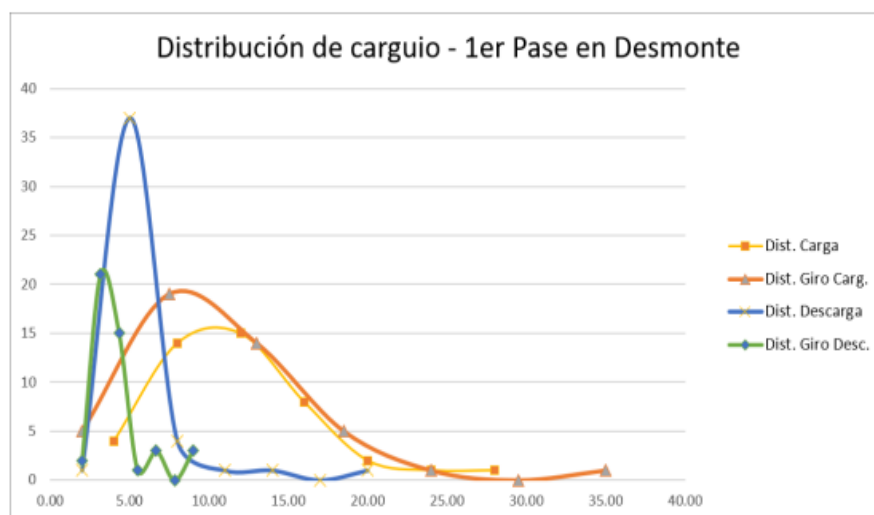
Figura 14. *Gráfico de Número de Pases por Número de Viajes – Reporte de Prueba 01.*



Nota: En la figura 14 se observa el gráfico de número de pases por número de viajes – reporte de prueba 01

La figura 14 presenta una comparación entre la cantidad de pases requeridos y el número de viajes realizados, diferenciados por tipo de volquete. Un dato particularmente relevante es que se registraron 52 viajes con volquetes de 20 toneladas, cada uno cargado en 7 pases. Esta información resulta clave para evaluar la eficiencia del proceso de carguío y ajustar, si es necesario, la compatibilidad entre la capacidad de los equipos y la estrategia operativa empleada.

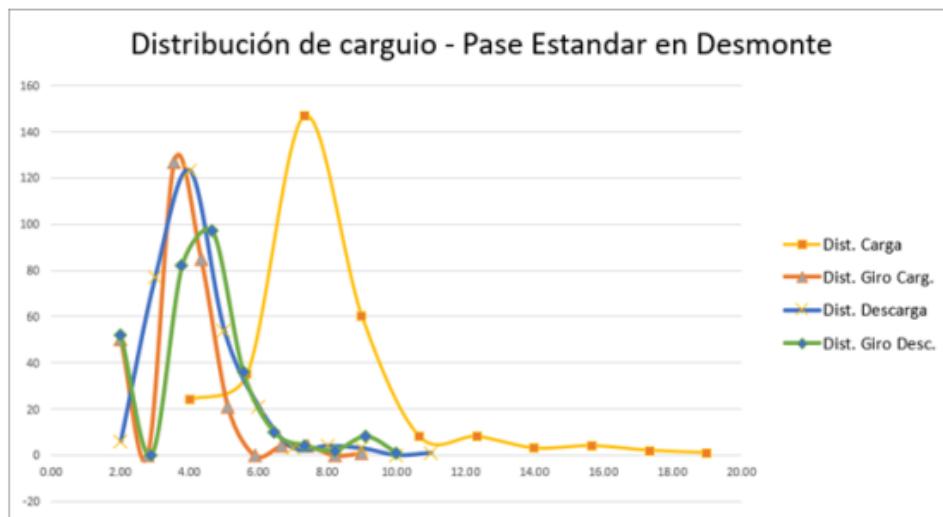
Figura 15. *Gráfico de Distribución de carguío en el primer pase - Material Desmonte – Reporte de Prueba 01.*



Nota: En la figura 15 se observa el gráfico de distribución en el primer pase – material desmonte – reporte de prueba 01

La figura 15 evidencia que las cuatro actividades que integran el primer pase no siguen una distribución estadística normal, ya que todas presentan un sesgo positivo (hacia la derecha). Este comportamiento indica que, en la mayoría de los casos, los tiempos registrados son menores que el promedio, aunque existen valores atípicos más altos que elevan la media. Este tipo de distribución puede reflejar variaciones operativas, demoras ocasionales o ineficiencias puntuales durante el desarrollo del primer pase.

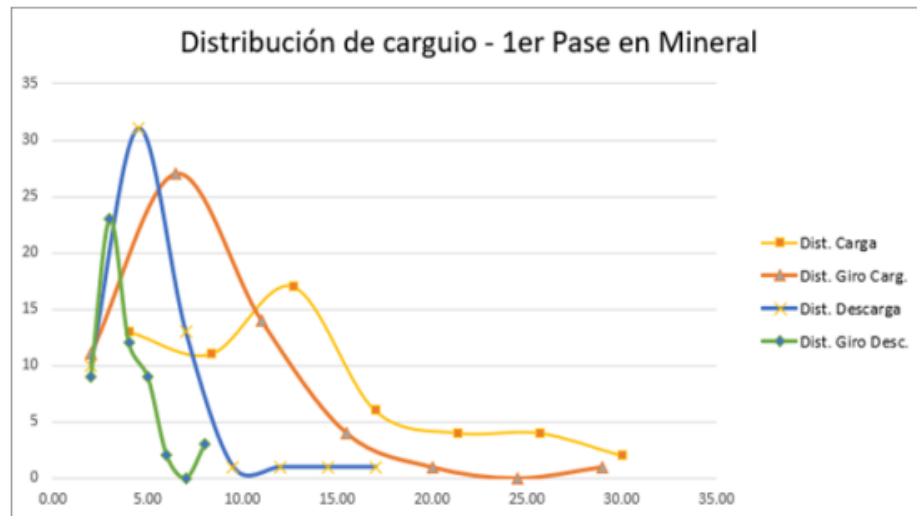
Figura 16. *Gráfico de Distribución de carguío pase estándar - Material Desmonte – Reporte de Prueba 01.*



Nota: En la figura 16 se observa el Gráfico de Distribución de carguío pase estándar - Material Desmonte – Reporte de Prueba 01.

La figura 16 muestra que las distribuciones de las actividades Giro Cargado, Descarga y Giro sin Carga presentan comportamientos similares entre sí, en contraste con la distribución de la actividad de Carga, que difiere notablemente. No obstante, todas estas distribuciones se aproximan a una forma normal, aunque con un leve sesgo hacia la derecha. Además, se evidencia que la tendencia de estos datos difiere significativamente de la observada en el primer pase, lo que sugiere que no pertenecen a la misma población estadística. Esta diferencia puede estar relacionada con factores operativos distintos entre los ciclos, como la experiencia del operador, las condiciones del frente de trabajo o la coordinación con los volquetes.

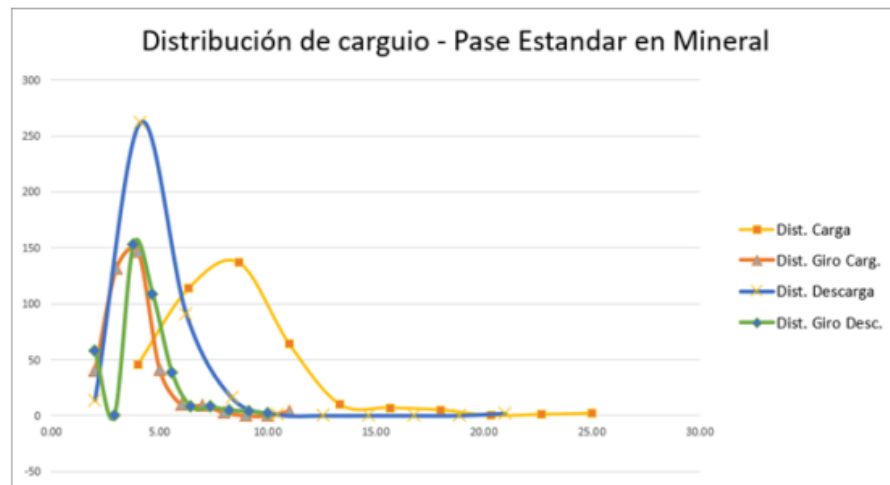
Figura 17. Gráfico de Distribución de carguío en el primer pase – Material Mineral –
Reporte de Prueba 01.



Nota: En la figura 17 se observa el Gráfico de Distribución de carguío en el primer pase - Material mineral– Reporte de Prueba 01.

En la figura 17 se observa que las actividades de Giro con Carga, Descarga y Giro sin Carga presentan distribuciones asimétricas con sesgo hacia la derecha, lo que indica una mayor concentración de datos en los valores más bajos, pero con presencia de eventos de mayor duración. En cambio, la distribución correspondiente a la actividad de 'Carga' muestra un comportamiento más irregular, con sesgo tanto hacia la izquierda como hacia la derecha, lo que sugiere una mayor variabilidad e inestabilidad en los tiempos registrados. Esta dispersión podría estar relacionada con factores operativos como interrupciones, cambios en el posicionamiento del volquete o variaciones en la destreza del operador, lo cual merece una evaluación más detallada para optimizar el proceso.

Figura 18. *Gráfico de Distribución de carguío pase estándar - Material Mineral –
Reporte de Prueba 01*



Nota: En la figura 18 se observa el Gráfico de Distribución de carguío pase estándar - Material mineral – Reporte de Prueba 01.

El gráfico 18 muestra que las actividades de Giro Cargado, Descarga y Giro sin Carga presentan distribuciones similares entre sí, a diferencia de la actividad de Carga, cuya distribución difiere notablemente. No obstante, todas las distribuciones tienden a un comportamiento aproximadamente normal, aunque con un leve sesgo hacia la derecha. Esta ligera asimetría sugiere que, si bien la mayoría de los tiempos se concentran en torno a la media, existen algunos valores superiores que prolongan la duración de ciertas tareas. Estas variaciones pueden deberse a factores operativos como la distancia de acarreo, la coordinación con los volquetes o la eficiencia del operador, los cuales deben ser considerados en la evaluación del desempeño general del ciclo de carguío.

Análisis General de Carguío # 2

Tabla 12. Reporte de Carguío – Prueba 02.

Generalidades			
Fecha	11/02/2024	Capacidad (m3)	3.5
Hora inicio	07:49:40	Fase	02
Hora fin	12:00:00 Dia	Banco	4246 - 4252
Turno	Excavadora	Material	Mineral
Equipo	CAT349D	Unidad Geológica	UG-03 (Caliza, Mármol)
Modelo		Peso Específico (kN/m3)	26.6

Nota: En la tabla 12 se observa el reporte de carguío – prueba 02

Tabla 13. Resultados de Carguío – Reporte de Prueba 02.

Resultado de Tiempos	
T. Carga	00:49:00
T. Giro Cargado	00:28:09
T. Descarga	00:31:03
T. Giro Descargado	00:25:32
Demoras Operativas	01:23:40
Tiempos Muertos	00:32:56
Ciclo efectivo	02:13:44
Ciclo total	04:10:20

Nota: En la tabla 13 se observa los resultados de carguío – reporte de prueba 02.

Figura 19. Gráfico de Distribución de Tiempos – Reporte de Prueba 02.



Nota: En la figura 19 se observa el Gráfico de Distribución de tiempos de Prueba 02

La figura 19 evidencia que las demoras operativas representan el mayor porcentaje dentro de la jornada laboral. Esta situación ocurre principalmente durante las labores de minado de mineral, ya que la excavadora debe trasladarse constantemente de un polígono a otro con el fin de cumplir con las cuotas diarias de producción. Estos desplazamientos, aunque necesarios, generan tiempos improductivos significativos que afectan la eficiencia global del ciclo operativo. Identificar y reducir estas demoras puede contribuir directamente a una mejor planificación de las rutas de trabajo y al aprovechamiento óptimo del equipo disponible.

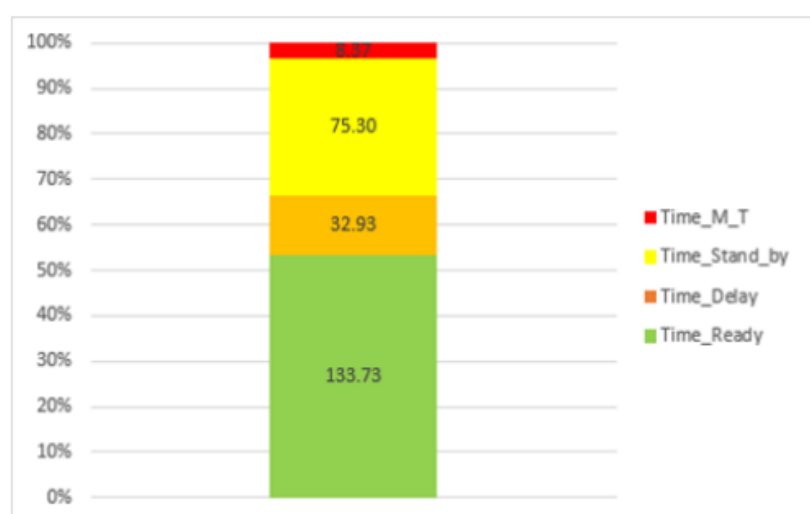
Tabla 14. Rendimientos – Reporte de Prueba 02.

Factor de Carga Promedio		Pases Promedio
VQ 20 tn	68.78%	7.52
Rendimientos		
Time_Ready	min	133.73
Time_Delay	min	32.93
Time_M_T	min	8.37
Time_Stand_	min	75.30
Uso (Use)	%	80.24%
Disponibilidad	%	96.66%

Nota: En la tabla 14 se observa el rendimientos – reporte de prueba 02

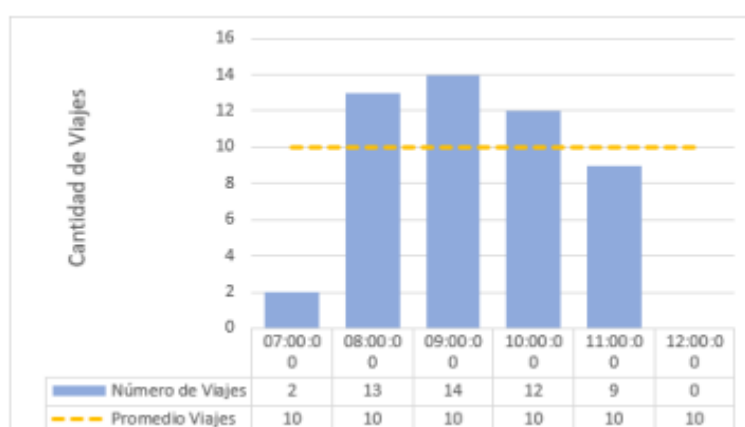
La tabla 14, correspondiente a los rendimientos operativos, muestra que la cuchara de la excavadora se utiliza, en promedio, solo al 67.18 % de su capacidad durante el carguío de los volquetes, requiriéndose aproximadamente siete pases y medio para completar cada carga. Este subuso de la capacidad de la cuchara puede deberse a factores como la fragmentación del material, la técnica del operador o la necesidad de evitar derrames durante el traslado. Esta situación evidencia una oportunidad de mejora en la eficiencia del carguío, ya que optimizar el llenado de la cuchara permitiría reducir el número de pases por ciclo y, en consecuencia, mejorar el rendimiento por hora.

Figura 20. Gráfico de Rendimientos – Reporte de Prueba 02.



Nota: En la figura 20 se observa el Gráfico de rendimientos – reporte de prueba 02

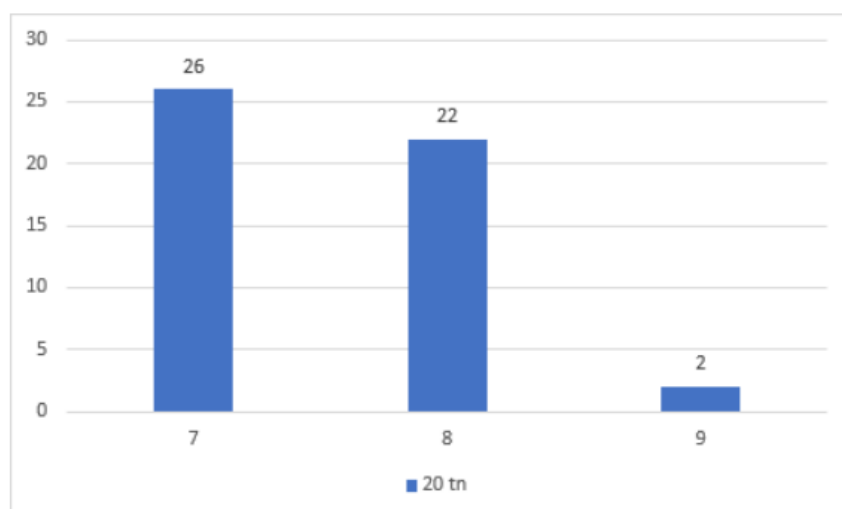
Figura 21. Gráfico de Número de Viajes por Hora – Reporte de Prueba 02



Nota: En la figura 21 se observa el grafico de numero de viajes por hora – Reporte de Prueba 02

En la figura 21 se muestra la cantidad específica de volquetes (viajes) que fueron cargados por la excavadora en cada hora de trabajo, acompañada por una línea de Pareto que indica el promedio de volquetes cargados por hora. Esta representación gráfica permite visualizar claramente los picos y valles en la productividad horaria, facilitando la identificación de las horas con mayor eficiencia operativa. Además, el análisis comparativo respecto al promedio ayuda a detectar posibles cuellos de botella o momentos en los que se podrían implementar mejoras para optimizar el desempeño del equipo.

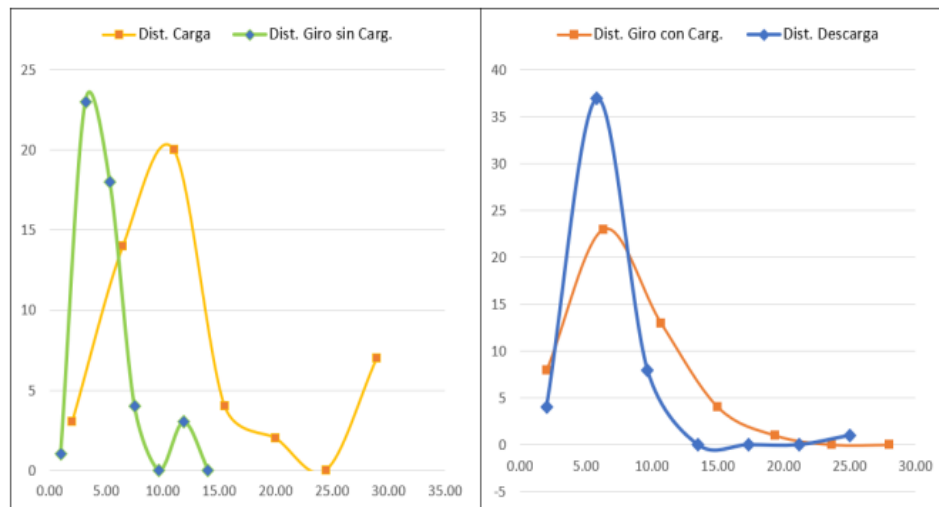
Figura 22. *Gráfico de Número de Pases por Número de viajes - Reporte de Prueba 02.*



Nota: En la figura 22 se observa el Gráfico de pases por números de viajes – Reporte de Prueba 02.

La figura 22 presenta una comparación entre el número de pases requeridos y la cantidad de viajes realizados, diferenciados según el tipo de volquete. Un aspecto destacado del gráfico es que se ejecutó el carguío de 26 volquetes de 20 toneladas utilizando 7 pases, mientras que en otros 22 volquetes del mismo tipo se requirieron 8 pases. Esta variación sugiere una diferencia en el nivel de llenado de la cuchara o en la distribución del material, lo que podría estar influenciado por factores como la habilidad del operador, las condiciones del frente de trabajo o la densidad del material cargado. Analizar estas diferencias permite identificar oportunidades de mejora en la estandarización del proceso de carguío para aumentar la eficiencia operativa y reducir los tiempos de ciclo.

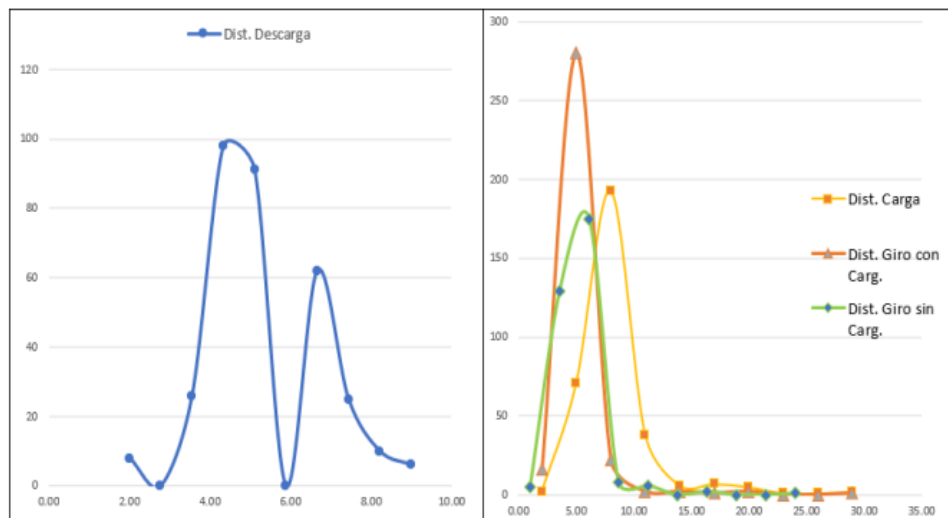
Figura 23. *Gráfico de Distribución de carguío en el primer pase - Reporte de prueba 02*



Nota: En la figura 23 se observa el Gráfico de Distribución de carguío en el primer pase– Reporte de Prueba 02.

En la figura 23 se observa que las actividades de Carga y Giro sin Carga presentan distribuciones con sesgo positivo, es decir, hacia la derecha, lo que indica que en la mayoría de los casos los tiempos son menores al promedio, pero con la presencia de algunos valores más altos que alargan la cola de la distribución. En contraste, las actividades de Giro con Carga y Descarga tienden a seguir una distribución normal, lo cual sugiere una mayor estabilidad y regularidad en los tiempos registrados para estas etapas del ciclo operativo. Esta diferencia en los patrones de distribución puede ser útil para identificar qué fases del proceso requieren mayor control o ajustes para reducir la variabilidad y mejorar la eficiencia general del sistema.

Figura 24. Gráfico de Distribución de carguío pase estándar - Reporte de Prueba 02.



Nota: En la figura 24 se observa el Gráfico de Distribución de carguío pase estándar– Reporte de Prueba 02

La figura 24 muestra que la distribución de los tiempos asociados a la actividad de Descarga presenta un sesgo evidente, lo que indica una asimetría en la dispersión de los datos, posiblemente generada por variaciones en la ubicación del punto de descarga o interrupciones operativas puntuales. En contraste, las distribuciones correspondientes a las actividades de Carga, Giro con Carga y Giro sin Carga tienden a ajustarse a una distribución normal, con una menor presencia de datos atípicos (outliers). Esta regularidad sugiere una mayor estabilidad en estas fases del ciclo, lo cual es favorable desde el punto de vista operativo. Identificar y analizar la causa del sesgo en la etapa de descarga permitirá implementar medidas correctivas que contribuyan a mejorar la eficiencia y homogeneidad del proceso.

Análisis General de Carguío # 3

Tabla 15. Reporte de Carguío – Prueba 03.

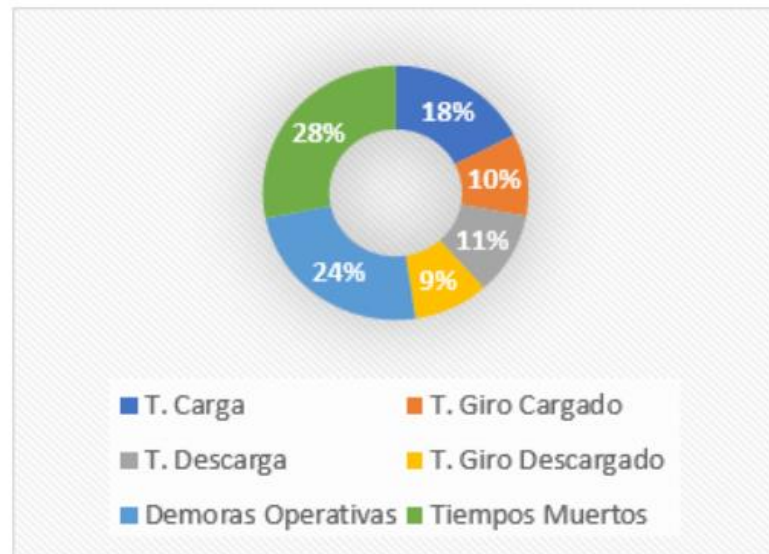
Generalidades			
Fecha	27/02/2024	Capacidad (m3)	4.2
Hora inicio	07:00:00	Fase	02
Hora fin	18:00:00	Banco	4246
Turno	Dia	Material	Desmonte
Equipo	Excavadora	Unidad Geológica	UG-03 (Caliza, Mármol)
Modelo	CAT374F	Peso Específico (kN/m3)	26.6

Nota: En la tabla 15 se observa el reporte de carguío - Prueba 03.

Tabla 16. Resultados de Carguío – Reporte de Prueba 03.

Resultado de Tiempos	
T. Carga	01:54:11
T. Giro Cargado	01:07:51
T. Descarga	01:08:46
T. Giro Descargado	00:59:39
Demoras Operativas	02:37:43
Tiempos Muertos	03:04:01
Ciclo efectivo	05:10:27
Ciclo total	10:52:11

Figura 25. *Gráfico de Distribución de Tiempos – Reporte de Prueba 03.*



Nota: En la figura 25 se observa el Gráfico de Distribución de Tiempos – Reporte de Prueba 03.

La figura 25 revela que los tiempos muertos junto con las demoras operativas representan aproximadamente el 50 % del total del tiempo analizado. Esta alta proporción de inactividad evidencia una pérdida significativa de eficiencia durante la jornada laboral. La magnitud de estos tiempos no productivos sugiere la necesidad de una revisión detallada de los factores que los generan, como la coordinación deficiente entre equipos, traslados innecesarios o tiempos de espera prolongados. Identificar y abordar estas causas permitirá implementar estrategias de mejora que optimicen la utilización del tiempo y contribuyan al aumento del rendimiento global del proceso operativo.

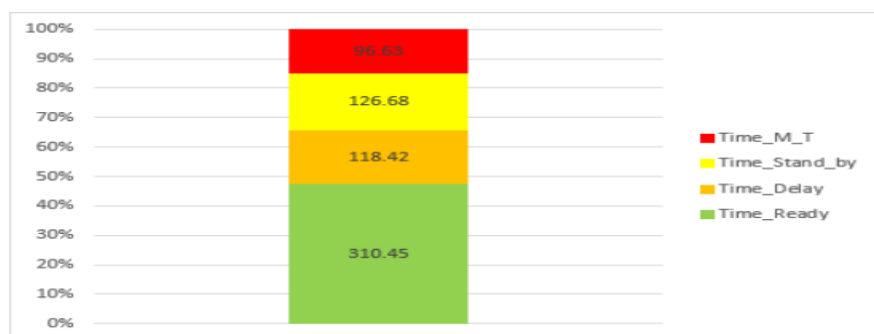
Tabla 17. Rendimientos – Reporte de Prueba 03

Factor de Carga Promedio		Pases Promedio
VQ 20 tn	84.69%	5.14
VQ 22 tn	85.16%	5.60
VQ 24 tn	84.66%	6.15
Rendimientos		
Time_Ready	min	310.45
Time_Delay	min	118.42
Time_M_T	min	96.63
Time_Stand_by	min	126.68
Uso (Use)	%	72.39%
Disponibilidad	%	85.18%

Nota: En la tabla 17 se observa el rendimiento – reporte de prueba 03

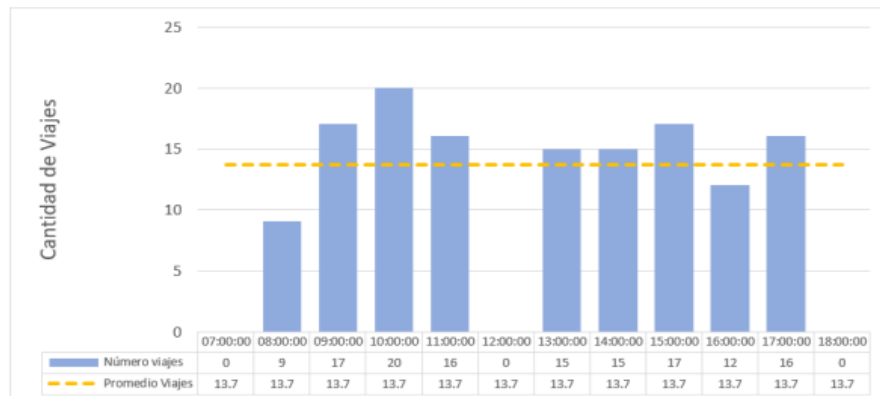
La tabla 17 muestra que el llenado promedio de la cuchara alcanza un 84.84 % de su capacidad durante el carguío de los volquetes. Este nivel de llenado, aunque superior al observado en otras mediciones, aún refleja un margen de mejora en la utilización del equipo. Optimizar el llenado al máximo posible sin comprometer la seguridad ni provocar derrames podría reducir el número de pases requeridos por ciclo, mejorando así la eficiencia operativa y disminuyendo el tiempo total del proceso de carga. Esta información resulta clave para ajustar las prácticas del operador y evaluar la compatibilidad entre la capacidad de la cuchara y los volquetes utilizados.

Figura 26. Gráfico de Rendimientos – Reporte de Prueba 03.



Nota: En la figura 26 se observa el grafico de rendimientos – reporte de prueba 03.

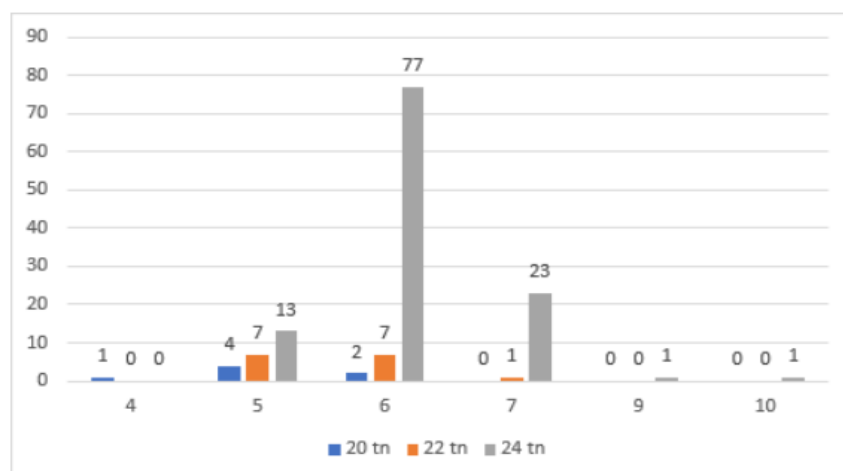
Figura 27. Gráfico de Número de Viajes por Hora – Reporte de Prueba 03.



Nota: En la figura 27 se observa el grafico de números de viajes por hora – reporte de prueba 03

La figura 27 presenta la cantidad específica de volquetes (viajes) que fueron cargados por la excavadora en cada hora de operación, junto con una línea de Pareto que representa el promedio de volquetes cargados por hora. Esta 64 visualización permite identificar de manera clara las horas con mayor y menor productividad, facilitando el análisis de tendencias operativas. Además, la comparación con el promedio proporciona una base útil para detectar desviaciones en el rendimiento, lo que puede servir como punto de partida para implementar mejoras en la planificación, asignación de recursos y gestión del tiempo en el frente de trabajo.

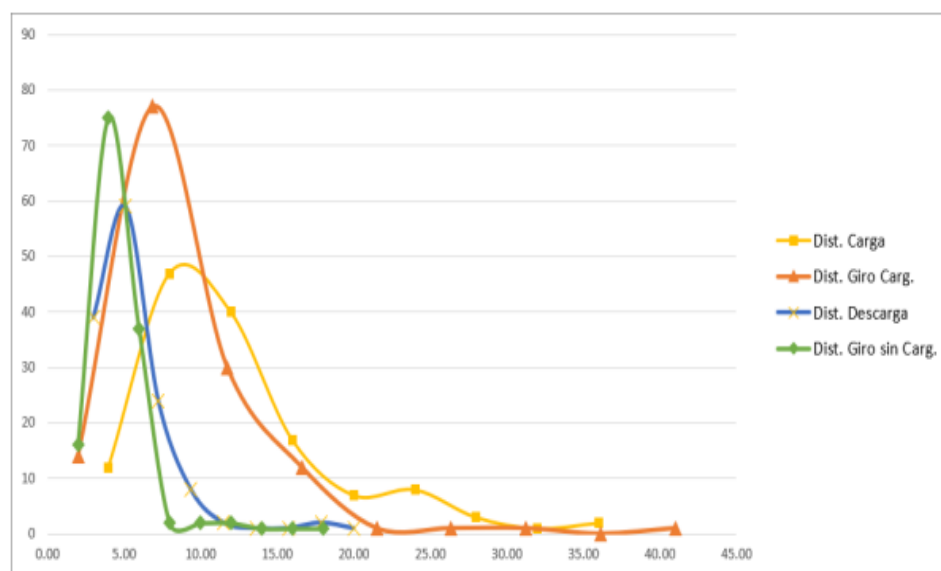
Figura 28. Gráfico de Número de Pases por Número de viajes - Reporte de prueba 03.



Nota: En la figura 28 se observa el grafico de números de pases por números de viajes – reporte de prueba 03.

La figura 28 muestra una comparación entre el número de pases requeridos y la cantidad de viajes realizados para cada tipo de volquete. Un aspecto particularmente representativo del gráfico es que se efectuó el carguío de volquetes de 24 toneladas utilizando únicamente 6 pases. Este resultado evidencia una alta eficiencia en el proceso de carguío, lo cual podría estar relacionado con un buen aprovechamiento de la capacidad de la cuchara, adecuada coordinación entre equipos y una correcta fragmentación del material. Este tipo de desempeño puede servir como referencia para optimizar el número 65 de pases en otros tipos de volquetes y mejorar así la productividad general del ciclo operativo.

Figura 29. *Gráfico de Distribución de carguío en el primer pase – Reporte de Prueba 03.*

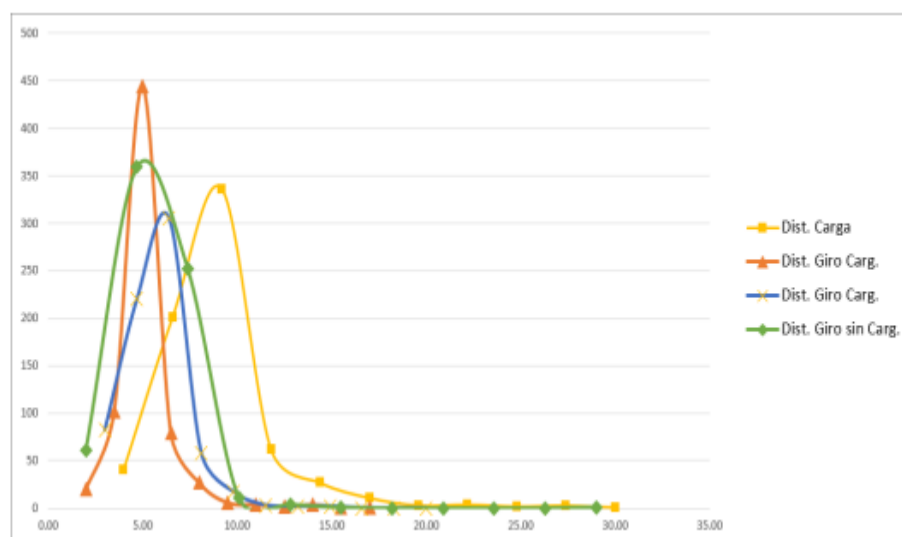


Nota: En la figura 29 se observa el gráfico de distribución de carguío en el primer pase – reporte de prueba 03.

La figura 29 evidencia que la distribución de los tiempos de carguío correspondientes al primer pase presenta un marcado sesgo hacia la derecha, lo que indica que la mayoría de los registros se concentran en valores menores, pero con una presencia considerable de tiempos más largos que alargan la cola de la distribución. Este comportamiento sugiere una variabilidad operativa significativa al inicio del ciclo, posiblemente relacionada con la preparación del equipo, la alineación del volquete o la ubicación del material. Identificar las causas de esta dispersión podría

ser clave para reducir las demoras iniciales y mejorar la consistencia del proceso de carguío.

Figura 30. *Gráfico de Distribución de carguío pase estándar – Reporte de Prueba 03.*



Nota: En la figura 30 se observa el grafico de distribución de pase estándar - reporte de Prueba 03.

La figura 30 muestra que la distribución de los tiempos de carguío durante el pase estándar tiende a ajustarse a una distribución normal, con una ligera asimetría hacia la derecha y presencia mínima de datos atípicos. Este comportamiento indica una mayor estabilidad y uniformidad en el desempeño operativo una vez superado el primer pase. La consistencia observada en esta etapa del ciclo sugiere que el proceso se desarrolla bajo condiciones más controladas, lo que representa una oportunidad para establecer este pase como referencia en la evaluación del rendimiento y en la implementación de mejoras operativas.

4.2.3. Resultados de Análisis de Carguío con Equipos CAT374F y CAT349D

Resultado de análisis estadístico de datos de campo

Los resultados mostrados a continuación son lo obtenido por la metodología descrita previamente, este análisis está dividido entre el análisis estadístico del primer pase “PP”, el acomodamiento “A” y el pase estándar PE.

Tabla 18. Muestra representativa en datos del primer pase (PP).

Equipo	Litología	Parte Ciclo	Valor de muestra	Datos totales
CAT374F	Arenisca, Dacita, Pórfido	T. Carga	31	107
		T. Giro carga	31	107
		T. Descarga	31	107
		T. Giro desc	31	107
	Arenisca, Limolita, Conglomerado	T. Carga	41	131
		T. Giro carga	41	131
		T. Descarga	41	131
		T. Giro desc.	41	131
	Caliza, Mármol, Brecha	T. Carga	101	780
		T. Giro carga	101	780
		T. Descarga	101	780
		T. Giro desc.	101	780
	Dacita, pórfido feldespático	T. Carga	41	134
		T. Giro carga	41	134
		T. Descarga	41	134
		T. Giro desc	41	134
CAT349D	Arenisca, Dacita, Pórfido	T. Carga	21	26
		T. Giro carga	21	26
		T. Descarga	21	26
		T. Giro desc.	21	26
	Caliza, Mármol, Brecha	T. Carga	81	599
		T. Giro carga	81	599
		T. Descarga	81	599
		T. Giro desc.	81	599
	Dacita, pórfido feldespático	T. Carga	31	35
		T. Giro carga	31	35
		T. Descarga	31	35
		T. Giro desc.	31	35

Nota: En la tabla 18 se observa la muestra representativa en datos de primer pase (PP)

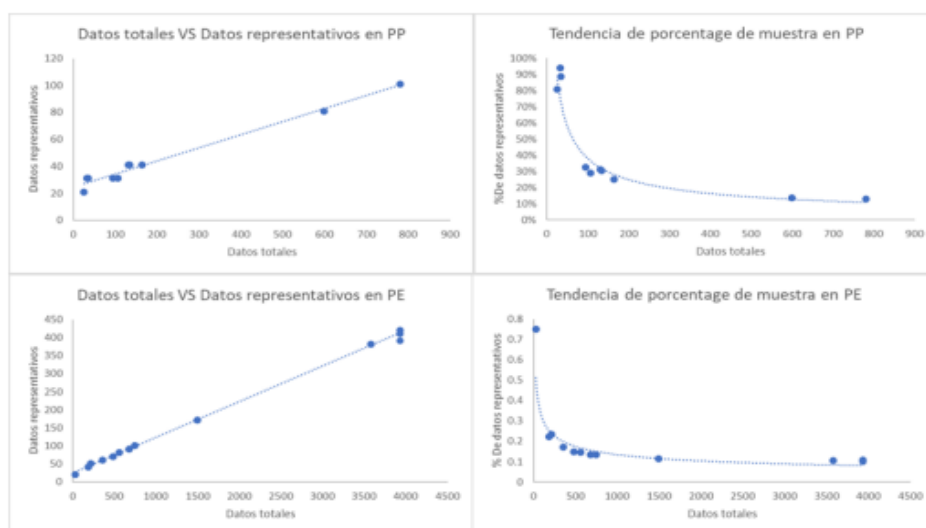
Tabla 19. Muestra representativa en datos del pase estándar (PE)

Equipo	Litología	Parte Ciclo	Valor de muestra	Datos totales
CAT374F	Arenisca, Dacita, Pórfido	T. Carga	71	482
		T. Giro carga	71	482
		T. Descarga	71	482
		T. Giro desc	71	482
	Arenisca, Limolita, Conglomerado	T. Carga	81	560
		T. Giro carga	81	560
		T. Descarga	81	560
		T. Giro desc.	81	560
	Caliza, Mármol, Brecha	T. Carga	381	3578
		T. Giro carga	381	3578
		T. Descarga	381	3578
		T. Giro desc.	381	3578
	Dacita, pórfido feldespático	T. Carga	91	680
		T. Giro carga	91	680
		T. Descarga	91	680
		T. Giro desc	91	680
CAT349	Arenisca, Dacita, Pórfido	T. Carga	41	185
		T. Giro carga	41	185
		T. Descarga	41	185
		T. Giro desc.	41	185
	Arenisca, Limolita, Conglomerado	T. Carga	21	28
		T. Giro carga	21	28
		T. Descarga	21	28
		T. Giro desc.	21	28
	Caliza, Mármol, Brecha	T. Carga	391	599
		T. Giro carga	391	599
		T. Descarga	391	599
		T. Giro desc.	391	599
	Dacita, pórfido feldespático	T. Carga	51	35
		T. Giro carga	31	35
		T. Descarga	31	35
		T. Giro desc.	31	35

Nota: En la tabla 19 se observa la muestra representativa en datos del pase estándar (PE)

Las tablas 18 y 19 muestran la cantidad de datos representativos según el conjunto de datos disponible en “BD-CARGUIO” y tiene un comportamiento variable, para poder dar una recomendación, es necesario analizar su correlación y modelar el tamaño de muestra representativa en función de la data que se tenga disponible.

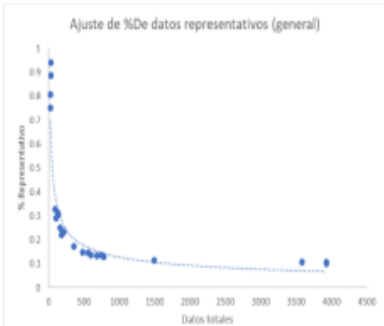
Figura 31. *Gráfico de correlación de datos totales y muestra representativa*



Nota: En la figura 31 se observa el grafico de correlación de datos totales y muestra representativa

Con lo mostrado en la figura 31, se puede obtener el número de datos representativos a partir de una base de datos ajustando a cualquiera de los 2 modelos, sin embargo, al ser de suma importancia, se elegirá, aquel modelo que mejor tendencia de tratamiento de errores posea.

Tabla 20. Comparación de modelos de ajuste de datos totales vs datos representativos

	Lineal	No Lineal
Gráfico del modelo		
Ecuación	$\#Dr = 0.099.\#Dt + 24.239$	$\%D = 0.848 - 0.714.e^{-8131.183 . (\#Dt-2.1567)}$
Gráfica de errores		

Nota: En la tabla 20 se observa la comparación de modelos de ajuste de datos totales vs datos representativos

En la tabla 20 analizamos ambos modelos, el que tiene mayor confiabilidad en el tratamiento de errores es el método no lineal ya que su tendencia es evidente y sus agrupaciones también, por ello, se usa el modelo no lineal, con los siguientes rangos de errores.

Tabla 21. Errores según cantidad de datos medidos

Rango de datos	Error
0 - 50	9%
50 - 200	$0.3029 - 0.0013*\#Dt$
200 -400	15%
400-1500	$0.0002*\#Dt - 0.0658$
1500 -	25%

Nota: En la tabla 21 se observa los errores según cantidad de datos medidos.

$\#Dr = \text{Numero de datos representativos}$

$\#Dt = \text{Numero de datos totales}$

$\%D = \#Dr/\#Dt$

$\%D = \text{Porcentage de datos representativos del total}$

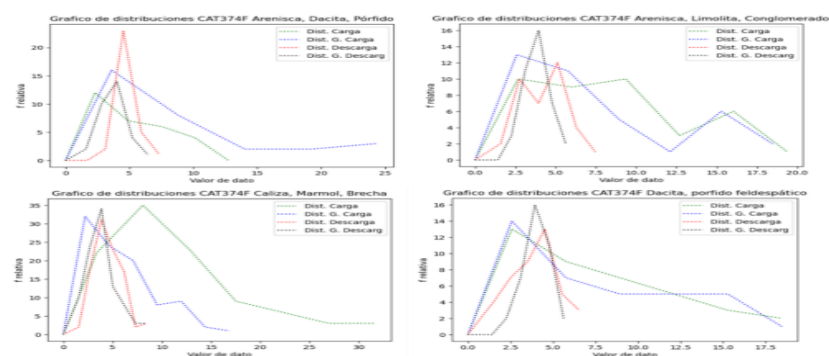
Al usar el método no linear evidenciamos que a partir del dato 500 la muestra representativa es aproximadamente el 10%, y que en adelante el comportamiento es homogéneo, es por ello que, como recomendación de este subcapítulo, se propongan campañas de medición de 600 pases según cambien las condiciones de operación (litología, fragmentación o equipos).

Análisis de outliers y distribuciones estadísticas:

Ya obtenido el número de muestra representativo para cada equipo y litología, se procede a la extracción aleatoria de la base de datos y posteriormente su análisis estadístico, al igual que en el análisis de muestra, las distribuciones y outliers serán repartidas entre el primer pase, pase estándar y la combinación de equipos con litologías.

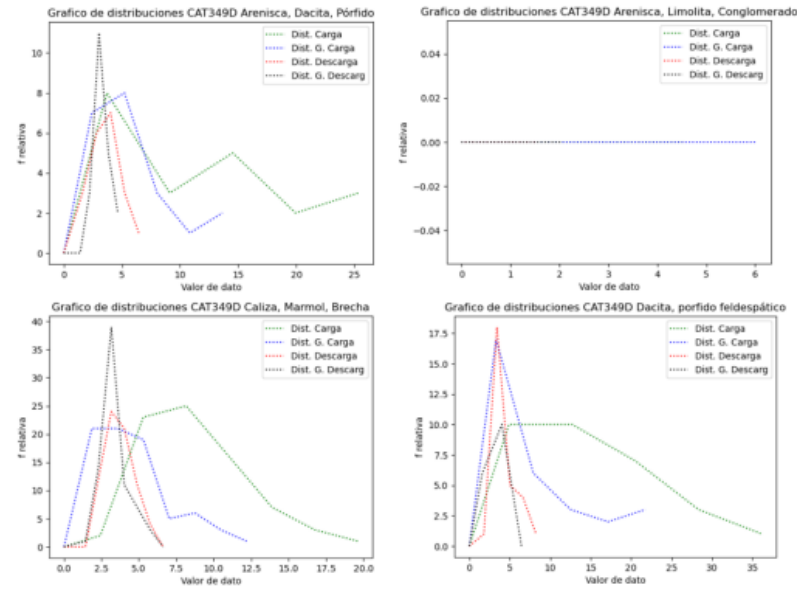
PRIMER PASE:

Figura 32. Gráfico de Distribuciones de todo el ciclo en el primer pase de CAT374F



Nota: En la figura 32 se observa el grafico de distribuciones de todo el ciclo en el primer pase de CAT374F

Figura 33. *Gráfico de Distribuciones de todo el ciclo en el primer pase de CAT349D*



Nota: En la figura 33 se observa el grafico de distribuciones de todo el ciclo en el primer pase de CAT349D

Es notorio que las distribuciones tienen rangos de valores diferentes, sin embargo, tienen las mismas tendencias si hablamos de partes del ciclo de carguío, podemos asegurar entonces que en el primer pase tanto el tiempo de Carga de cucharón y Giro cargado tienen una tendencia a una distribución sesgada a la derecha y el tiempo de descarga, así como el tiempo de giro descargado corresponden a una distribución normal

Tabla 22. Valores eliminados en cada distribución en primer pase

Equipo	Litología	Parte Ciclo	Cantidad outliers
CAT374F	Arenisca, Dacita, Pórfido	T. Carga	4
		T. Giro carga	0
		T. Descarga	0
		T. Giro desc	0
	Arenisca, Limolita, Conglomerado	T. Carga	3
		T. Giro carga	2
		T. Descarga	3
		T. Giro desc.	3
	Caliza, Mármol, Brecha	T. Carga	5
		T. Giro carga	2
		T. Descarga	3
		T. Giro desc.	1
	Dacita, pórfido feldespático	T. Carga	3
		T. Giro carga	3
		T. Descarga	0
		T. Giro desc	0
	Arenisca, Dacita, Pórfido	T. Carga	0
		T. Giro carga	2
		T. Descarga	0
		T. Giro desc.	0
CAT349D	Arenisca, Limolita, Conglomerado	T. Carga	1
		T. Giro carga	1
		T. Descarga	1
		T. Giro desc.	1
	Caliza, Mármol, Brecha	T. Carga	1
		T. Giro carga	2
		T. Descarga	5
		T. Giro desc.	0
	Dacita, pórfido feldespático	T. Carga	1
		T. Giro carga	0
		T. Descarga	1
		T. Giro desc.	1
		T. Giro desc.	0

Nota: En la tabla 22 se observa valores eliminados en cada distribución en primer pase.

Los outliers son valores estadísticos fuera del comportamiento natural de los datos y tienen que ser eliminados para poder conocer sin errores la tendencia de los datos, en la tabla 22 se presenta la cantidad de datos que son eliminados en cada análisis y como se puede ver no representa ni el 5% de datos representativos en total.

Es comprobable también con la tabla 22 que muchos conjuntos de datos no requieren que sean eliminados datos, esto demuestra la eficacia de la toma de datos.

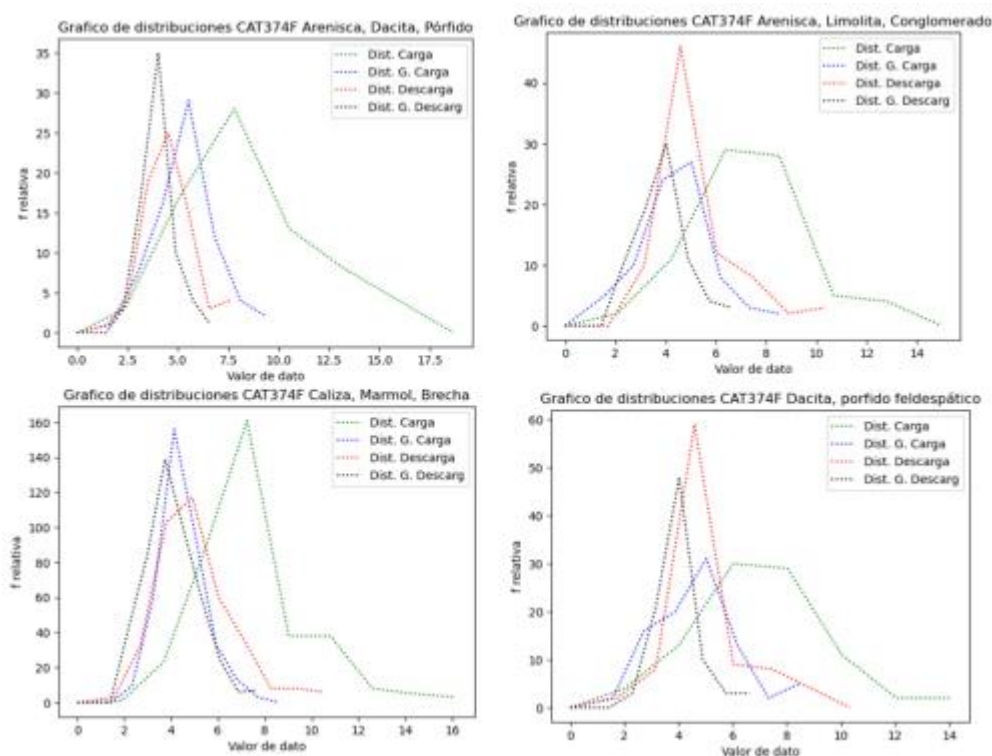
Haciendo una comparación con el tamaño de muestra representativa de manera porcentual, se puede afirmar que:

$$\text{Error de muestreo de PP} = 3.27\%$$

PASE ESTANDAR:

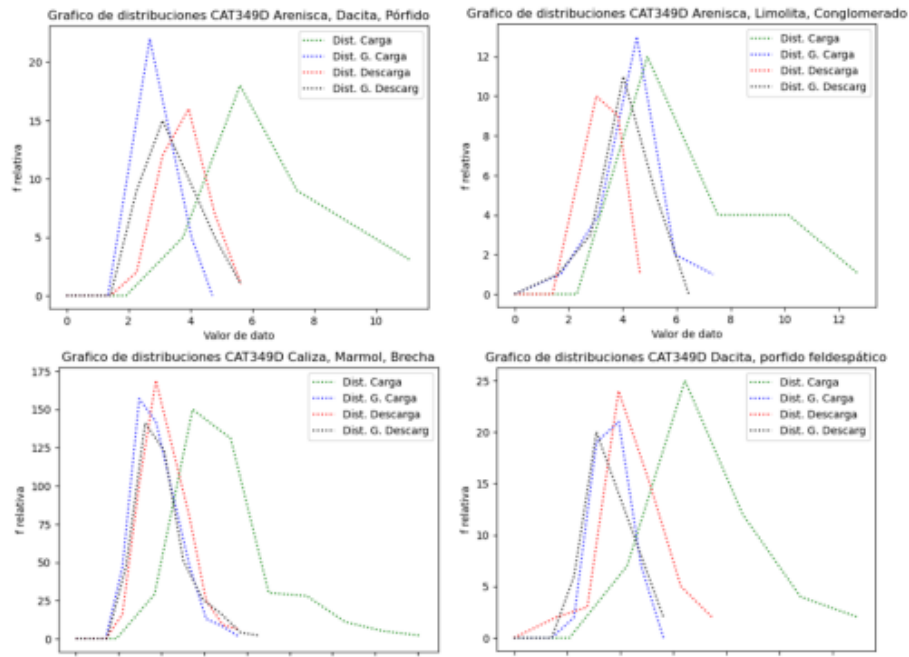
De la misma manera que el primer pase, el pase estándar tiene sus propias tendencias, y tienen más importancia aun, ya que en un ciclo de carguío se hacen más de 4 pases estándar.

Figura 34. Gráfico de Distribuciones de todo el ciclo en pase estándar de CAT374F



Nota: En la figura 34 se observa el grafico de distribuciones de todo el ciclo en pase estándar de CAT374F

Figura 35. *Gráfico de Distribuciones de todo el ciclo en pase estándar de CAT349D*



Nota: En la figura 35 se observa el grafico de distribución de todo el ciclo en pase estándar de CAT349D

A diferencia de las distribuciones del primer pase las del pase estándar tienen todas sin excepción una tendencia a distribuciones normales, esto se evidencia en todas las litologías y con cualquier equipo de carguío, entonces su modelamiento debe ser separado.

Tabla 23. Valores eliminados en cada distribución en pase estándar

Equipo	Litología	Parte Ciclo	Cantidad outliers
CAT374F	Arenisca, Dacita, Pórfido	T. Carga	0
		T. Giro carga	0
		T. Descarga	0
		T. Giro desc	2
	Arenisca, Limolita, Conglomerado	T. Carga	1
		T. Giro carga	0
		T. Descarga	1
		T. Giro desc.	3
	Caliza, Mármol, Brecha	T. Carga	3
		T. Giro carga	3
		T. Descarga	8
		T. Giro desc.	1
	Dacita, pórfido feldespático	T. Carga	3
		T. Giro carga	0
		T. Descarga	1
		T. Giro desc	0
	Arenisca, Dacita, Pórfido	T. Carga	1
		T. Giro carga	0
		T. Descarga	4
		T. Giro desc.	0
CAT349D	Arenisca, Limolita, Conglomerado	T. Carga	3
		T. Giro carga	0
		T. Descarga	0
		T. Giro desc.	0
	Caliza, Mármol, Brecha	T. Carga	0
		T. Giro carga	9
		T. Descarga	7
		T. Giro desc.	1
	Dacita, pórfido feldespático	T. Carga	0
		T. Giro carga	2
		T. Descarga	1
		T. Giro desc.	3
		T. Giro desc.	1

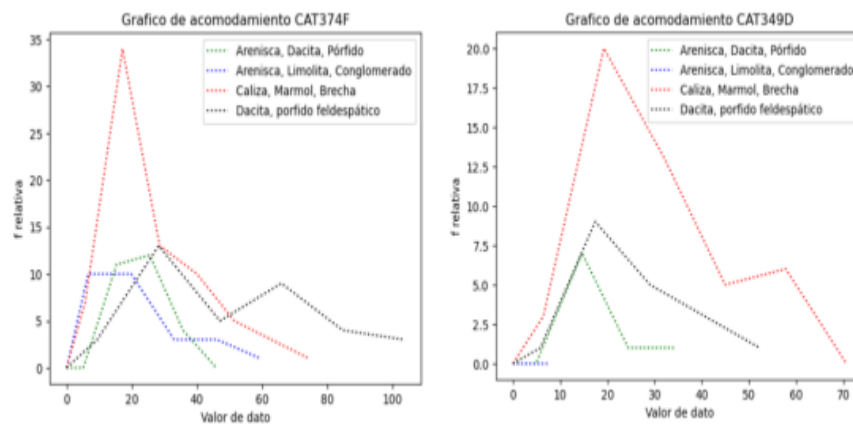
Nota: En la tabla 23 se observa valores eliminados en cada distribución en pase estándar.

De la misma manera que en el primer pase, los outliers eliminados son pocos, esto confirma la eficiencia de la toma de datos semiautomática, el error de muestreo en este caso es de:

$$\text{Error de muestreo de PE} = 1.19\%$$

Ya conociendo las distribuciones de todo el ciclo de carguío tradicional se añade el “Acomodamiento o perfilado de frente” como parte del análisis por su continuidad e importancia en eficiencia en el ciclo “Real” de carguío.

Figura 36. Gráfico de Distribuciones de acomodamiento por cada equipo y litología



Nota: En la figura 36 se observa el grafico de distribución de acomodamiento por cada equipo y litología.

Los acomodamientos de frente en toda litología y con cualquier equipo tienen una tendencia sesgada a la derecha, además de ello sus valores son altos así que confirmamos su importancia en el ciclo de carguío y representa el improductivo interno del ciclo (debe evaluarse su clasificación) ya que este valor reduce la eficiencia del equipo de carguío.

Las distribuciones no solo representan y confirman que los datos del ciclo de carguío tienen grupos estadísticos con tendencias diferentes, sino también nos da pie a la siguiente etapa del análisis en general el modelamiento y simulación; en esta sustentación y debido a la aleatoriedad mostrada en las distribuciones de todo el ciclo de carguío y acomodamiento se usará SIMULACION MONTECARLO este método es eficiente cuando los datos corresponden a distribuciones conocidas, unimodales y que

no dependan de variables externas, así también usaremos las frecuencias absolutas acumuladas (generadas en el análisis de distribuciones) para su aproximación a un modelo matemático, los resultados de estos modelos se encuentran por escenarios medidos en el siguiente subcapítulo.

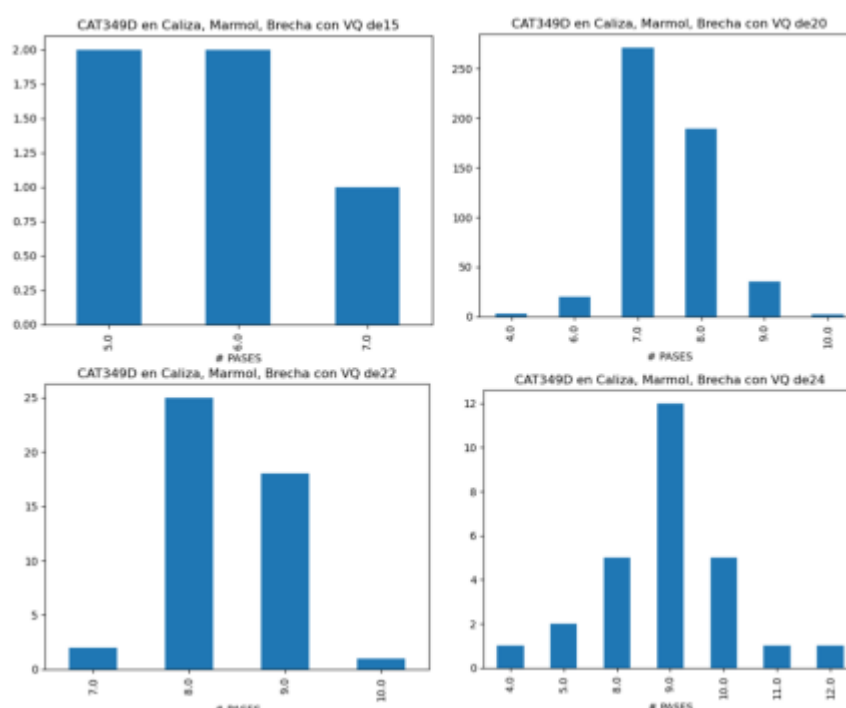
Resultado de modelamiento y simulación

El objetivo del análisis es encontrar indicadores correctos para el control operativo y conocer de manera sustentada los rendimientos esperados que puedan alcanzar, debido a que este capítulo evalúa los equipos y litologías de manera independiente, los resultados obtenidos son la productividad y eficiencia en las condiciones más adecuadas en cuanto a (pases, numero de volquetes asignados y tiempo de acarreo de los volquetes en ciclo), para ello primero se hace un análisis de la cantidad de pases en cada escenario, luego se simula el escenario y finalmente se interpola la simulación haciendo variar las variables de entrada para obtener el análisis de sensibilidad, en este subcapítulo se presenta solamente el escenario simulado de acuerdo al medido en cada escenario, este representa el valor esperado y sirve como principal KPI de la operación.

CAT349D en Calizas:

Este escenario es el principal aporte de Mineral, se usa la pala CAT349D por sus dimensiones, esto debido al tamaño de polígonos mineralizados, la litología sobre la que es analizada este escenario es de Caliza, Mármol, Brecha, a continuación, se muestran los gráficos de barras de pases medidos en volquetes con diferentes tamaños de tolvas:

Figura 37. Gráfico de Histogramas de numero de pases en Calizas con CAT349D.



Nota: En la figura 37 se observa el grafico de histogramas de numero de pases en calizas con CAT349D

La figura 37 muestra que se posee pocos datos con respecto a volquetes de 15 m³, sin embargo, con volquetes de capacidad 20, 22 y 24 m³ el número de pases es muy irregular, los gráficos de numero de pases para el llenado de estos volquetes no dan confiabilidad de una sentencia fija con respecto a cada capacidad de tolva.

La variabilidad del número de pases más evidente la podemos notar en volquetes de 20 m³ ya que por asignación operativa es su flota cotidiana y además se posee mayor cantidad de información en la BD-CARGUIO, podemos observar que más de 250 viajes fueron cargados con 7 pases y que más de 150 viajes fueron cargados con 8 pases, una explicación de esta variabilidad es directamente a responsabilidad la fragmentación en el mismo tipo de litología pero en diferente zona de extracción, como se presentó en el capítulo 2 la geología es una variable no controlable y tampoco se tienen métodos eficientes de su medición, para poder representar el impacto de productividad que tiene aumentar 1 pase, se analiza el análisis de sensibilidad con el número de pases como variable, esto lo veremos en el próximo capítulo, sin embargo para aclarar los valores de rendimiento daremos un

numero de pases fijo para cada volquete con capacidad de tolva diferente en la siguiente tabla:

Tabla 24. Número de pases por capacidad de volquete en calizas con CAT349D.

Capacidad de VQ	Numero de pases (por mayoría)
15 m3	Falta información
20 m3	7
22 m3	8
24 m3	9

Nota: En la tabla 24 se observa el numero de pases por capacidad de volquete en calizas con CAT349D

En la base de datos BD-CARGUIO también se tiene evidencia calculada del factor de llenado promedio (hoja data_fill_cal filtrada por capacidad de volquete 20 y pases de 7, 8, 9 y 10) que posee cada volquete con respecto a su número de pases y una suposición de 0.9 en el factor de llenado de tolva, para la obtención de este valor usamos la formula definida en el capítulo 1 factor llenado de cuchara y el promedio para este escenario con volquetes de 20 m3 es:

$$F. ll.CAT349Calizas (20m3) = 69.8 \%$$

Este valor afirma que solo es llenado el 70% de la cuchara de la pala cuando carga volquetes de 20m3 de capacidad (solo se analiza con esta capacidad de tolva debido a que es la capacidad recomendable para operar) , las alternativas del porqué de este valor radican en que o se está dando un pase extra al volquete o debería haber un control de fragmentación y rediseño de voladura, esto se analizara en el subcapítulo final de carguío donde se mostraran las perdidas potenciales de la operación cotidiana en comparación a la simulada.

Productividad esperada CAT349D en Calizas:

A continuación, se presentará los resultados de la simulación siguiendo la metodología propuesta, cabe resaltar que en este escenario no solo existe una actividad, de hecho la pala CAT349D en la fase 2 (primordialmente Calizas) tiene por tarea la extracción de polígonos mineralizados solamente una fracción del día, luego

se enfoca en extraer desmante (como parte de la liberación de polígonos o simplemente extracción), por ello la flota que pasa por esta pala es variable y dispone de capacidades de 20 y 24 m³, también se considerara de 22 m³ para una mayor profundidad; debido a la extracción de mineral y desmante, el tiempo de acarreo también es variable y se considerara (como indicador inicial) los valores promedio de la ruta que sigan (desde fase2 a op1 si es mineral y desde fase2 a presa de relaves “PR” si es desmante) provenientes de la BDACARREO.

Los resultados mostrados son el promedio de 10000 iteraciones es por ello que los valores finales son los esperados, no siguen el mismo patrón de calculo que se toma como inputs, es decir no se puede obtener la eficiencia desde los indicadores de productividad e improductivos mostrados ya que la eficiencia también es un valor promediado en las iteraciones y es un valor fijo y comprobado.

Tabla 25. *Valores max. y min. promedio de acarreo desde fase 2 a OP y PR.*

Medición	Origen	Destino	Tiempo
Min	Fase2	OP	16
Max	Fase2	OP	17
Min	Fase2	PR	20
Max	Fase2	PR	22

Nota: En la tabla 25 se observa los valores max. y min. Promedio de acarreo desde fase 2

Conociendo los valores del tiempo de acarreo, los pases que se dan por cada capacidad de volquete y el número de volquetes que se asignan por operatividad (6 volquetes de 20), los valores de productividad esperados son los siguientes:

Para 7 pases y 6 volquetes 20m³ (flota optima de mineral):

Tabla 26. *Productividad por hora de mineral con CAT 349D en Calizas con volquetes de 20 m³.*

T. Ciclo	N°	Ton	Ton	Cola	Espera	Acom	Operativo	Eficiencia	Ciclo
Acarreo	Viajes	Nexa	Pevoex						carguío
16	22.20	807.73	673.32	-214.63	27.20	788.28	3237.48	0.85	20.86
17	21.73	790.79	659.19	-77.23	130.78	789.90	3237.72	0.79	21.30

Nota: En la tabla 26 se observa la productividad por hora de mineral con CAT349D en calizas con volquetes de 20 m³.

Para 9 pases y 6 volquetes “24m3” (flota supuesta de mineral):

Tabla 27. Productividad por hora de mineral con CAT 349D en Calizas con volquetes de 24 m3.

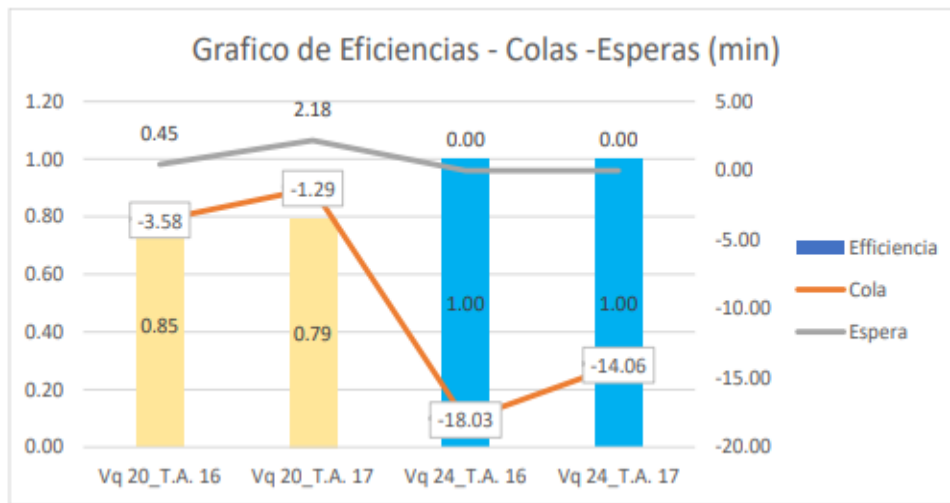
T. Ciclo	N°	Ton	Ton	Cola	Espera	Acom	Operativo	Eficiencia	Ciclo
Acarreo	Viajes	Nexa	Pevoex						carguío
16	18.35	801.22	667.89	-1081.66	0.00	787.07	4132.26	1.00	25.05
17	18.35	801.11	667.79	-843.87	0.00	789.38	4131.71	1.00	25.05

Nota: En la tabla 27 se observa la productividad por hora de mineral con CAT349D en calizas con volquetes de 24 m3.

De la tabla 26 y 27, primero se presenta la productividad de mineral con la pala CAT349D, el reporte de viajes confirma y demuestra que esta pala debe trabajar con una flota de volquetes con capacidad de tolva de 20m3 ya que su producción por hora es mayor a 21 viajes, por otro lado, los viajes esperados si la flota fuera de volquetes de 24 m3 serian 18, sin embargo, la eficiencia demuestra un caso diferente en el caso de una flota de 24m3 la actividad de la pala es del 100% pero esto solo nos confirma que la pala trabajara toda la hora y aun así tendrá una productividad similar y lo que reafirma esta sentencia es el valor de las colas que superan los 15 min si se trabaja con una flota de 24 m3.

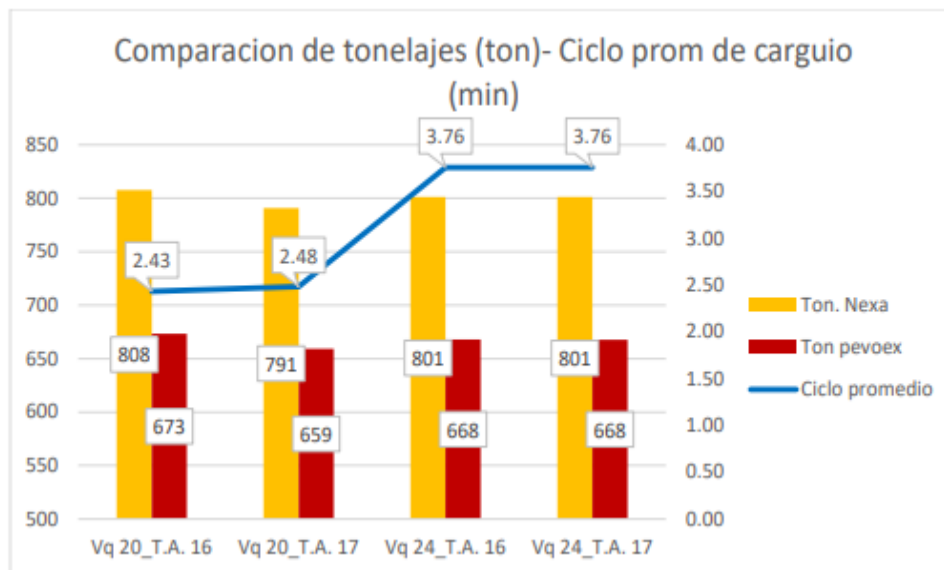
El tonelaje que reporta Pevoex es proporcional al número de viajes por hora que realiza la pala, entonces como KPI de este análisis tenemos que el tonelaje esperado debe ser de 807 ton si el tiempo de acarreo es de 16 min y de 791 ton si el tiempo de acarreo es de 17 min.

Figura 38. Gráfico de eficiencia, colas y esperas en productividad de mineral de CAT349D.



Nota: En la figura 38 se observa el grafico de eficiencia, colas y esperas en productividad de mineral de CAT349D

Figura 39. Gráfico de comparación de ton esperados y ciclo de carguío en mineral de CAT349D



Nota: En la figura 39 se observa el grafico de comparación de ton esperados y ciclo en mineral de CAT349D

Para 7 pases y 6 volquetes 20m3 (flota cotidiana de desmonte):

Tabla 28. Productividad por hora de desmonte con CAT 349D en Calizas con volquetes de 20 m3.

T. Ciclo Acarreo	N° Viajes	Ton Nexa	Ton Pevoex	Cola	Espera	Acom	Operativo	Eficiencia	Ciclo carguío
20	18.00	655.00	546.00	-0.25	580.74	590.02	2428.13	0.68	19.27
22	18.00	654.88	545.90	0.00	941.50	591.39	2428.16	0.61	19.27

Nota: En la tabla 28 se observa la productividad por hora de desmonte con CAT349D en calizas con volquetes de 20 m3.

Para 9 pases y 6 volquetes 24m3 (flota supuesta de desmonte):

Tabla 29. Productividad por hora de desmonte con CAT 349D en Calizas con volquetes de 20 m3

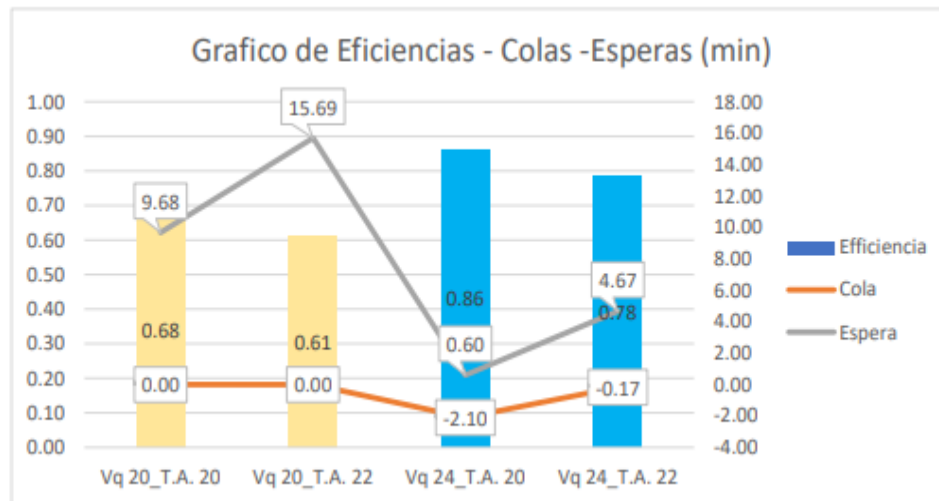
T. Ciclo Acarreo	N° Viajes	Ton Nexa	Ton Pevoex	Cola	Espera	Acom	Operativo	Eficiencia	Ciclo carguío
20	17.94	783.19	652.86	125.79	35.95	591.33	3098.95	0.86	19.20
22	17.46	762.47	635.59	-10.06	280.15	595.25	3098.79	0.78	19.74

Nota: En la tabla 28 se observa la productividad por hora de desmonte con CAT349D en calizas con volquetes de 20 m3.

Las tablas 28 y 29 muestran la productividad de la pala CAT349D en Calizas cuando se mina desmonte, se puede notar que las tendencias son diferentes que cuando extrae mineral; principalmente en el tonelaje por hora, se puede ver que en este caso es proporcional a la capacidad de tolva del volquete, esto es diferente a la productividad en mineral, donde el tonelaje movido era similar con cualquier tipo de capacidad de tolva, también se evidencia que las colas son casi inexistentes y que por lo contrario las esperas varían de acuerdo a la eficiencia esperada.

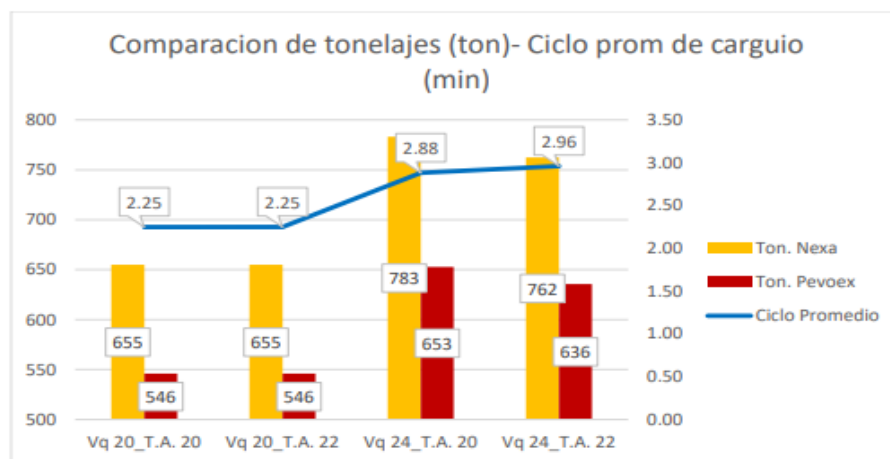
Con los resultados de productividad mostrados es evidente que la flota adecuada para la pala CAT349D en movimiento de desmonte es de 24 m3, sin embargo, esto no suele ocurrir continuamente en la operación, por lo contrario, lo más común es que se trabaje con una flota mixta compuesta por volquetes con capacidad de 20 y 24 m3, por lo pronto se darán los valores de productividad hallados con flota homogénea, el análisis de flota mixta es parte del estudio en conjunto del sistema y no entra en esta parte de la sustentación.

Figura 40. Gráfico de eficiencia, colas y esperas en productividad de desmonte de CAT349D



Nota: En la figura 40 se observa el grafico de eficiencia, colas y esperas en productividad de desmonte de CAT349D

Figura 41. Gráfico de comparación de ton esperados y ciclo de carguío en desmonte de CAT349D



Nota: En la figura 41 se observa el grafico de comparación de ton esperados y ciclo de carguío en desmonte de CAT349D

El tonelaje que reporta Pevoex es proporcional al número de viajes por hora que realiza la pala, entonces como KPI del análisis en desmonte tenemos que el tonelaje esperado debe ser de 546 ton si el tiempo de varía entre 20 – 22 min usando volquetes de 20 m3 y de 653 ton si el tiempo de acarreo es de 20 min usando volquetes de 24 m3.

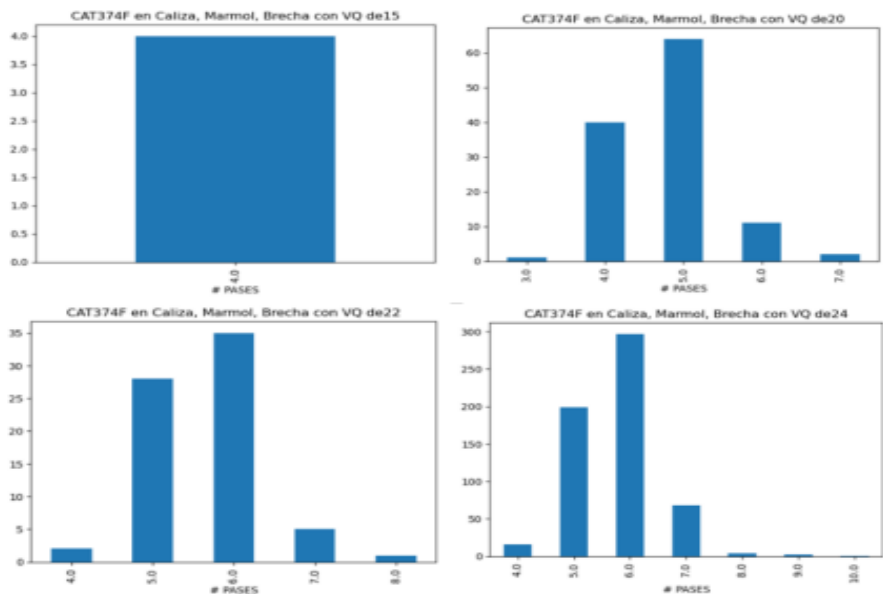
Este análisis comprende el estudio de la productividad esperada junto con sus variables, no se considera el tiempo de traslado de un punto a otro ya que eso depende de las redistribuciones que sucedan en la continuidad de la operación, al existir reposicionamientos la eficiencia y productividad por hora se reducen y es por ello que su análisis debe ser mediante un sistema de distribución.

Tanto en el movimiento de mineral como desmonte, las eficiencias que muestra la simulación no son altas, de echo tienen un valor considerablemente bajo, esto es por que como parte del ciclo de acarreo fue considerado el acomodamiento y perfilado de frente cuyo valor tiene gran importancia en la operación, posteriormente para el cálculo de la eficiencia este valor no fue considerado como operativo; como definición la eficiencia es tomada como el porcentaje de una hora que el equipo está activo, sin embargo, cuando existen colas el valor de la eficiencia presentada no es real ya que el equipo de carguío trabajara continuamente generando tiempos improductivos en acarreo; como parte de los resultados se puede afirmar que en extracción de mineral con la pala CAT349D y una flota de volquetes de 20m3 se espera una eficiencia del 80%, en extracción de desmonte con una flota de 20 m3 se espera una eficiencia entre 60- 70% y con una flota de 24 m3 se espera una eficiencia mayor al 80%.

CAT374F en Calizas:

Este escenario representa (a la actualidad marzo del 2024) la principal actividad de liberación de polígonos mineralizados en la fase 2; en la fase 3 actualmente se mina el nivel 4318 donde aún no se ha llegado a la litología de calizas; cuando se requiere de movimiento masivo en fase 2 o gran tonelaje para la liberación de polígonos, la excavadora CAT374F se traslada a esta fase y comienza su actividad; a continuación se muestra el análisis de pases y productividad esperada de esta pala en esta litología, el análisis es similar al del escenario previamente descrito.

Figura 42. Gráfico de Histogramas de numero de pases en Calizas con CAT374F



Nota: En la figura 42 se observa el grafico de histogramas de numero de pases en calizas con CAT374F

En la figura 42 también muestra que se posee pocos datos con respecto a volquetes de 15 m3, sin embargo, con volquetes de capacidad 20, 22 y 24 m3 la información es confiable, también al igual que en el escenario anterior el número de pases es muy irregular, aunque a diferencia de CAT349D en calizas la cantidad de pases con segunda mayor cantidad de datos medidos esta antes que el de mayor cantidad, lo cual puede confirmar que el último pase es innecesario, sin embargo para su análisis inicial tomaremos como estándar al número de pases con mayor cantidad de datos registrados

Tabla 30. Número de pases por capacidad de volquete en Calizas con CAT374F

Capacidad de VQ	Numero de pases (por mayoría)
15 m3	4
20 m3	5
22 m3	6
24 m3	6

Nota: En la tabla 30 se observa el numero de pases por capacidad de volquete en calizas con CAT374F

En la base de datos BD-CARGUIO también se tiene evidencia calculada del factor de llenado promedio de este escenario (hoja data_fill_cal filtrada por capacidad de tolva en 20 y 24 y por número pases de 4,5,6,7), en este caso se dará dos valores de factor de llenado ya que la pala 347F trabaja con una flota de 24 m3 y a veces con volquetes de 22 y 20 cubos, sin embargo, la flota actual solo contempla capacidades de 20 y 24, los factores de llenado son:

$$F. ll.CAT374FCalizas (20m3) = 80.26 \%$$

$$F. ll.CAT374FCalizas (22m3) = 88.28 \%$$

$$F. ll.CAT374FCalizas (24m3) = 92.14 \%$$

Nuevamente el factor de llenado en volquetes de 20m3 es bajo y la hipótesis de que el último pase es innecesario es más sustentable ya que si se tratara de granulometría y fragmentación, el factor de llenado de cualquier pala en la misma litología debería ser similar, pero se comprueba una independencia de los factores geológicos, por otra parte el factor de llenado en este escenario de volquetes de 24 m3 es de 92.14% un valor alto pero que de todas maneras es inferior al que debería ser el valor operativo (mayor o igual al 100%), esto si depende netamente de las condiciones de granulometría en el frente de minado.

Finalmente existe una correlación entre la capacidad de tolva y el factor de llenado, sin embargo, ambas variables tienen muchas dependencias externas así que es más una curiosidad que un caso a analizar.

Productividad esperada CAT374F en Calizas:

La productividad es hallada con la misma cantidad de iteraciones (10000) que, en el caso anterior, sin embargo, la excavadora CAT374F solamente mueve 93 desmonte por lo que los resultados serán calculados con datos de acarreo (provenientes de BD-ACARREO) desde fase 2 con destino en presa de relaves.

Tabla 31. Valores Max. y min. promedio de acarreo desde fase2 a PR.

Medición	Origen	Destino	Tiempo
Min	Fase2	PR	20
Max	Fase2	PR	22

Nota: En la figura 31 se observa los valores Max. y min. promedio de acarreo desde fase 2 a PR.

La flota asignada a CAT374F es 7 volquetes de 24 m3 de capacidad de tolva y son llenados con un promedio de 6 pases, sin embargo, al igual que con la CAT349D cuando extrae desmonte, la flota generalmente es mixta y comprende volquetes de 20 y 24 m3, conociendo todo esto, los valores de productividad obtenidos son los siguientes:

Para 5 pases y 6 volquetes 20m3 (flota optima de mineral):

Tabla 32. Productividad por hora de desmonte con CAT 374F en Calizas con volquetes de 20 m3

T. Ciclo Acarreo	N° Viajes	Ton Nexa	Ton Pevoex	Cola	Espera	Acom	Operativo	Eficiencia	Ciclo carguío
20	18.00	655.00	546.00	0.00	1197.05	448.96	1955.53	0.50	21.73
22	18.00	655.00	546.00	0.00	1555.34	448.75	1955.50	0.49	21.73

Nota: En la tabla 32 se observa la productividad por hora de desmonte con CAT374f en calizas con volquetes de 20 m3.

Tabla 33. Productividad por hora de desmonte con CAT 374F en Calizas con volquetes de 24 m3

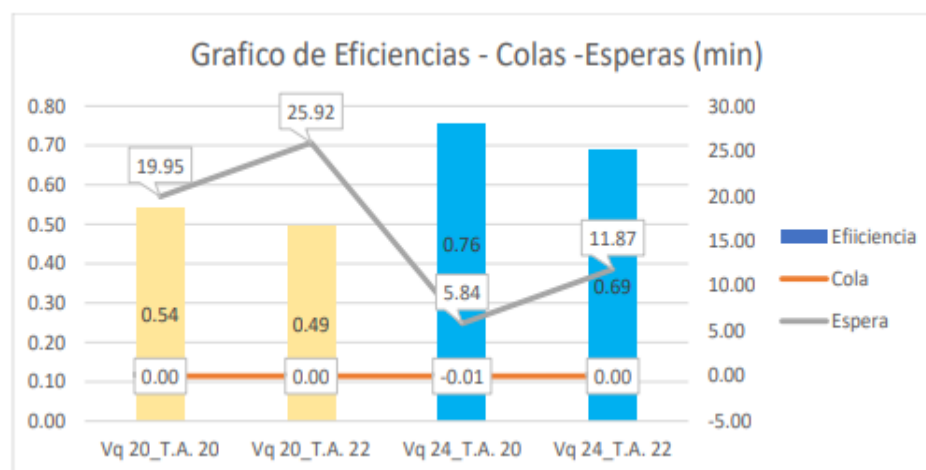
T. Ciclo Acarreo	N° Viajes	Ton Nexa	Ton Pevoex	Cola	Espera	Acom	Operativo	Eficiencia	Ciclo carguío
20	21.00	917.00	764.40	-0.40	350.39	523.29	2726.54	0.76	21.64
22	20.93	914.10	761.98	0.00	712.20	522.89	2725.73	0.69	21.70

Nota: En la tabla 33 se observa la productividad por hora de desmonte con CAT374f en calizas con volquetes de 24 m3.

Las tablas 32 y 33 muestran los valores de productividad obtenidos son similares en tendencia y valor a los medidos en movimiento de desmonte con la CAT349D además la correlación de producción con el tamaño de tolva también es evidente, también se puede ver que no existen colas, esto debido a que en ninguno de los casos se tienen una flota convenientemente ajustada, sin embargo, los indicadores de mayor variabilidad e importancia son los de eficiencia y espera, con

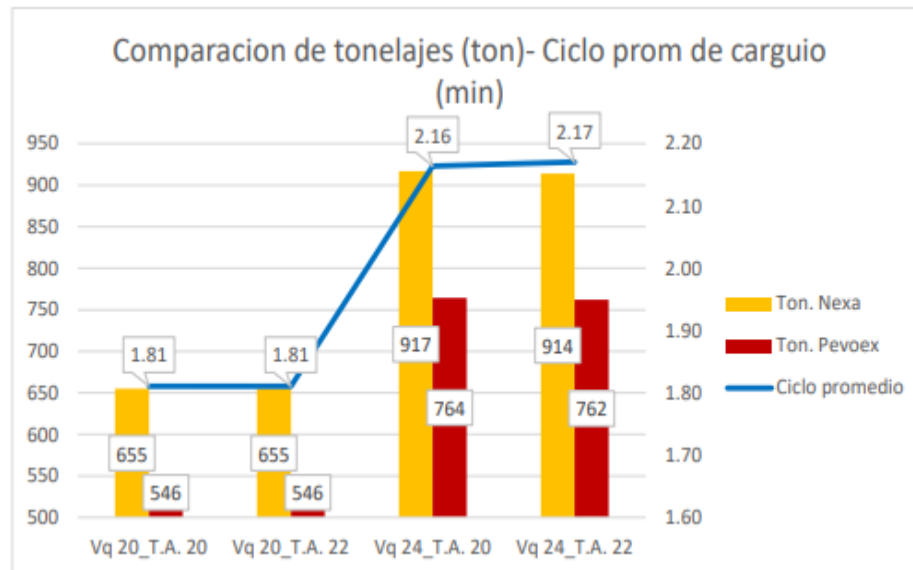
respecto a la eficiencia en los volquetes de capacidad 20 m³ se alcanza un valor aproximado de 50% esto es la consecuencia de la falta de volquetes que es confirmado en los valores de la espera que superan los 20 min, en volquetes de capacidad de 24 m³ la eficiencia supera el 70% esto debido a la disminución de las esperas; ambos indicadores dependen directamente del valor promedio del ciclo de carguío y el número de pases, entonces se puede afirmar que si se tiene una mejora en este valor (reduciendo el número de pases) aumentara la productividad (esto se analizara en el siguiente capítulo Análisis de sensibilidad).

Figura 43. *Gráfico de eficiencia, colas y esperas en productividad de desmonte de CAT374F*



Nota: En la figura 43 se observa el grafico de eficiencia, colas y esperas en productividad de desmonte de CAT374F

Figura 44. Gráfico de comparación de ton esperados y ciclo de carguío en desmante de CAT374F



Nota: En la figura 44 se observa el gráfico de comparación de ton esperados y ciclo de carguío en desmante de CAT374F

El tonelaje que reporta Pevoex es proporcional al número de viajes por hora que realiza la pala, entonces como KPI del análisis de CAT374F en desmante proveniente de la fase 2 tenemos que el tonelaje esperado debe ser de 546 ton si el tiempo de varía entre 20 – 22 min usando volquetes de 20 m3 y de 760 ton si el tiempo de acarreo es de 20-22 min usando volquetes de 24 m3.

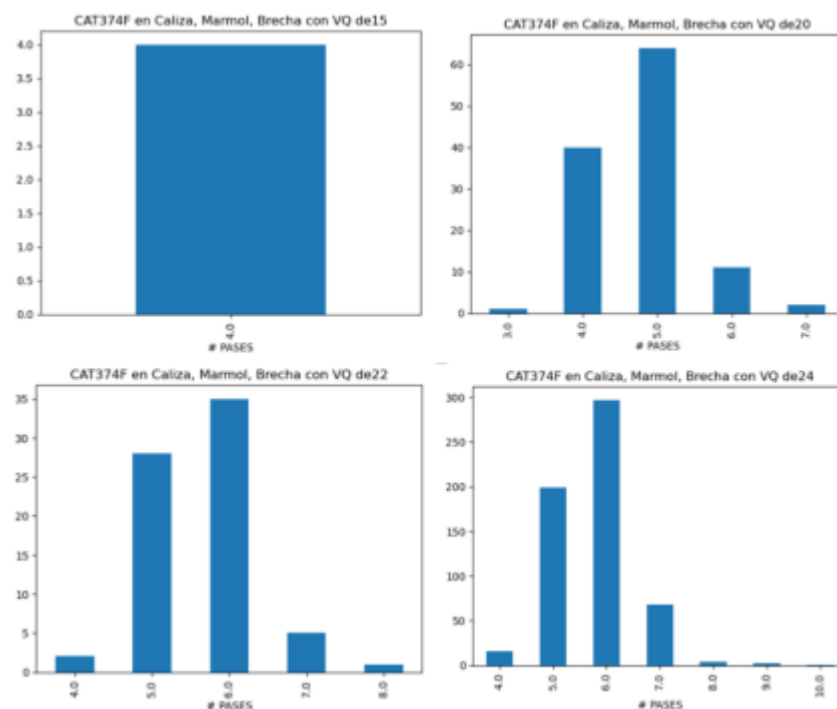
Con respecto a la pala CAT374F, es muy inusual que cambie de punto de extracción a lo largo del día es por ello que el resultado de las eficiencias mostradas son las más probables y las que se debe esperar de una operación cotidiana, se demuestra en las tablas 26 y 27 y se visualiza en los gráficos 16 y 17 que la flota con la que debe trabajar la pala CAT374F es con volquetes de 24m3 de capacidad, sin embargo, no es un escenario adecuado para reducir improductivos, debido a que muestra valores de espera considerables, las recomendaciones sobre esta variabilidad se mostraran en el análisis de sensibilidad (si la flota es uniforme) y en el posterior análisis del sistema conjunto (para una flota mixta).

CAT374F en Intrusivos:

Este escenario representa la extracción de desmonte de mayor dificultad (debido a la bolonería en la granulometría de la roca fragmentada) en la fase 3, debido a las características litológicas el número de pases que se da en intrusivo es mayor que en los otros tipo de roca presentes en la fase 3, sin embargo a partir de este escenario se puede interpolar la productividad en función al número de pases que haga la pala, no obstante, los otros escenarios (con las demás litologías) se irán describiendo a detalle más adelante.

La productividad obtenida de este escenario será el indicador más importante de movimiento de desmonte desde fase 3 a presa de relaves y representara la velocidad de avance con respecto al desarrollo de la mina, ya que un objetivo secundario es poder predecir (como parte del planeamiento a mediano plazo) cuando se llegara a las calizas (litología con mayor presencia de mineral) y también calcular la disponibilidad de tonelaje en la presa de relaves. Los diagramas de barras de numero de pases para volquetes con diferente capacidad son:

Figura 45. *Gráfico de Histogramas de numero de pases en Intrusivo con CAT374F*



Nota: En la figura 45 se observa el grafico de histogramas de numero de pases en intrusivo con CAT374F

En la toma de datos en campo de este escenario fue notorio la diferencia de granulometría, el grafico 18 muestra que efectivamente la irregularidad de fragmentación altera la cantidad de pases, como punto comparativo se observa que en extracción de fase 2 con CAT374F y con volquetes de 20m3 se requerían 5 pases sin embargo en este escenario predomina que los volquetes de esa capacidad son llenados con 6 pases, sin embargo las tendencias de pases en volquetes de 22 m3 de capacidad son muy diferentes predominando 5 pases como valor mayoritario, esto confirma que es muy posible que se realice el último pase innecesariamente (en volquetes de 20 y 22 m3), por otro lado la distribución de pases en volquetes de 24 m3 presenta mucha variabilidad, llegando a 8, con todo ello es difícil sacar una conclusión que responsabilice a otra variable que no sea la fragmentación; puesto que para el análisis de productividad es necesario valores estándares de pases los resultados obtenidos a partir de los diagramas son:

Tabla 34. *Numero de pases por capacidad de volquete en Intrusivo con CAT374F*

Capacidad de VQ	Numero de pases (por mayoría)
20 m3	5
22 m3	6
24 m3	6

Nota: En la tabla 34 se observa con números de pases por capacidad de volquete en intrusivo con CAT374F

De la misma forma que en los otros escenarios en la base de datos BDCARGUIO también se tiene evidencia calculada del factor de llenado promedio de este escenario (hoja data_fil_intru filtrada por capacidad de tolva en 20 y 24 y por número pases de 4,5,6,7), en este caso se dará dos valores de factor de llenado ya que la pala 347F trabaja con una flota de 24 m3 y a veces con volquetes de 22 y 20 cubos, sin embargo, la flota actual solo contempla capacidades de 20 y 24, los factores de llenado son:

$$F. ll.CAT374FIntrusivo (20m3) = 70.7 \%$$

$$F. ll.CAT374F \text{Intrusivo} (24m^3) = 85.7 \%$$

Nuevamente los resultados de factor de llenado tienen valores muy bajos, inclusive comparándolos con la extracción de desmonte es fase 2, y la respuesta a estos valores radica en la variabilidad de los pases y a su variable dependiente la fragmentación.

A mayor variabilidad de pases o mayor número de pases se obtiene un menor factor de llenado de cuchara.

Productividad esperada CAT374F en Intrusivo:

Los valores de tiempos de acarreo que se usaron para estas iteraciones provenientes de BD-ACARREO son las siguientes

Tabla 35. Valores Max. y min. promedio de acarreo desde fase3 a PR.

Medición	Origen	Destino	Tiempo
Min	Fase3	PR	23
Max	Fase3	PR	25

Nota: En la tabla 35 se observa los valores Max. y min promedio de acarreo desde fase 3 a PR

La asignación de flota usual en la operación de la pala CAT374F es de 7 volquetes de 24 m3 de capacidad de tolva (es el máximo número de disponibilidad de volquetes de esta capacidad) con este valor se hallara la productividad que se espera alcanzar, adicional a ello y debido a que en muchas ocasiones la flota asignada es mixta, también se presenta la productividad de una flota de 6 volquetes de 20 m3 de capacidad (máximo número de volquetes disponibles de esta capacidad), la productividad para ambos casos se presenta a continuación:

Para 5 pases y 6 volquetes 20m3 (flota cotidiana de desmonte fase 3):

Tabla 36. Productividad por hora de desmonte con CAT 374F en Intrusivo con volquetes de 20 m3.

T. Ciclo Acarreo	N° Viajes	Ton Nexa	Ton Pevoex	Cola	Espera	Acom	Operativo	Eficiencia	Ciclo carguío
20	17.83	648.71	540.76	-0.18	1321.79	842.24	1977.54	0.48	22.20
22	16.77	610.25	508.70	0.00	1682.59	841.85	1978.38	0.44	23.64

Nota: En la tabla 36 se observa la productividad por hora de desmonte con CAT374f en calizas intrusivo con volquetes de 20 m3.

Para 6 pases y 7 volquetes “24m3” (flota cotidiana de desmonte fase 3

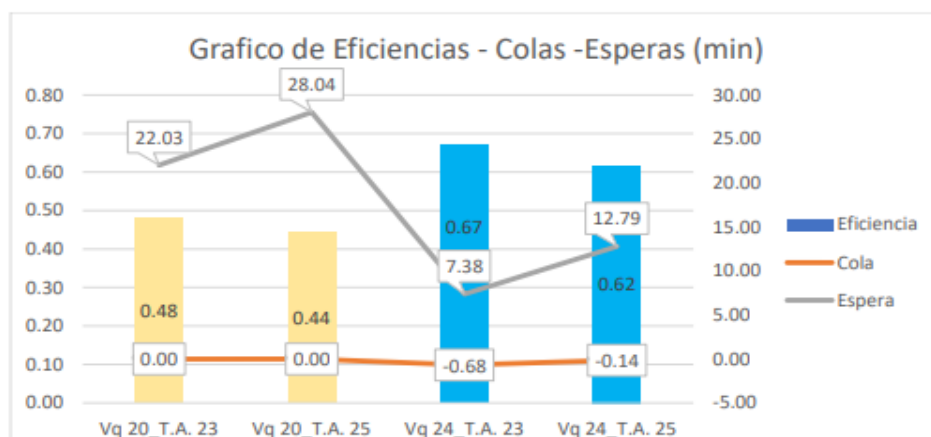
Tabla 37. *Productividad por hora de desmonte con CAT 374F en Intrusivo con volquetes de 24 m3.*

T. Ciclo	N°	Ton	Ton	Cola	Espera	Acom	Operativo	Eficiencia	Ciclo
Acarreo	Viajes	Nexa	Pevoex						carguío
20	19.19	837.93	698.49	-40.87	442.51	977.92	2758.22	0.67	24.00
22	18.09	789.96	658.51	-8.32	767.44	841.85	2758.05	0.62	25.43

Nota: En la tabla 37 se observa la productividad por hora de desmonte con CAT374f en calizas intrusivo con volquetes de 20 m3.

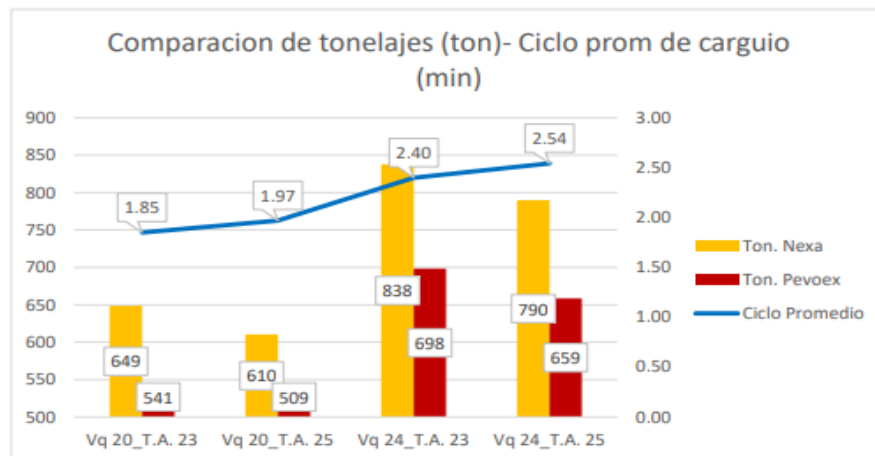
Las tablas 36 y 37 muestran los valores obtenidos muestran la misma tendencia que el caso anterior, entonces debido a esto podemos afirmar que cuando se mueva desmonte la tendencia de productividad es la misma (esto se confirmara o negara en el análisis de sensibilidad) además de ello que es conveniente la asignación de volquetes de 24 m3, similar al caso anterior la eficiencia cuando se asigna una flota de 20 m3, no supera el 50% y las esperas en promedio son de 25 min; en cuanto a la flota de volquetes de 24 m3 la eficiencia esperada es de 65% y tiene valores de espera promedios de 10 min, esta asignación de flota aun no es la conveniente y para ello se requiere del análisis de sensibilidad con flota uniforme o mixta, así se verán las perdidas o ganancias potenciales de una mejor distribución y una eficiencia más real.

Figura 46. *Gráfico de eficiencia, colas y esperas en productividad de desmonte de fase 3 con CAT374F.*



Nota: En la figura 46 se observa el grafico de eficiencia, colas y esperas en productividad de desmonte de fase 3 con CAT374F

Figura 47. Gráfico de comparación de ton esperados y ciclo de carguío en desmante de fase 3 con CAT374F.



Nota: En la figura 47 se observa el gráfico de comparación de ton esperados y ciclo de carguío en desmante de fase 3 con CAT374F

El tonelaje que reporta Pevoex es proporcional al número de viajes por hora que realiza la pala, entonces como KPI del análisis de CAT374F en desmante proveniente de la fase 3 tenemos que el tonelaje esperado debe ser de 540 ton si el tiempo de varía entre 23–25 min usando volquetes de 20 m3 y de 670 ton si el tiempo de acarreo es de 23-25 min usando volquetes de 24 m3.

La variable responsable de la disminución de productividad y aumento de improductivos es evidentemente el tiempo de acarreo es por ello que, si se desea evaluar oportunidades de mejora, esta variable es de vital importancia.

La productividad de cada escenario analizado en sus condiciones operativas cotidianas nos han mostrados muchas curiosidades y nos han dado KPI`s importantes para el control en campo, sin embargo, las afirmaciones de las correlaciones entre variables de productividad no pueden afirmarse en este punto, sin embargo la misma metodología se aplicara en el subcapítulo siguiente con el objetivo de sentenciar las pautas que se requieren para una mejora de producción enfocándose en sistemas que controlan variables independientes entre sí.

4.3. Prueba de Hipótesis

Existe suficiente evidencia estadística para comprobar la eficiencia de los equipos de carguío el cual influye significativamente en la mejora de la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.

Ho: **No Existe** suficiente evidencia estadística para comprobar la eficiencia de los equipos de carguío el cual influye significativamente en la mejora de la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.

Ha: **Existe** suficiente evidencia estadística para comprobar la eficiencia de los equipos de carguío el cual influye significativamente en la mejora de la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.

Nivel de significancia:

$$\alpha=5\%$$

Prueba de normalidad de datos:

Con el propósito de comprobar si las variables analizadas siguen una distribución normal, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, recomendada especialmente cuando el tamaño muestral es reducido ($n < 50$). Esta prueba se llevó a cabo considerando un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$), lo que permite determinar si existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis de normalidad. La elección de este método resulta adecuada para garantizar la validez de los análisis estadísticos posteriores, como la selección de pruebas paramétricas o no paramétricas.

Tabla 38. Prueba de Normalidad de variables.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig
Nro. Tal Proyectado	,952	3	,082
Nro. Tal Realizado	,929	3	,073

Nota: En la tabla 38 se observa la prueba de normalidad de variables

Se puede observar claramente que, según los resultados obtenidos en las pruebas de normalidad aplicadas tanto al número de taladros proyectados como al número de taladros ejecutados, ambas variables siguen una distribución normal,

evidenciada por valores de p superiores a 0.05. Por tal motivo, se optará por emplear el coeficiente de correlación de Pearson para el análisis, ya que este método estadístico es el más adecuado cuando las variables evaluadas presentan una distribución normal. Esta elección permitirá medir con mayor precisión la relación lineal entre ambas variables, contribuyendo a una interpretación más confiable de los resultados.

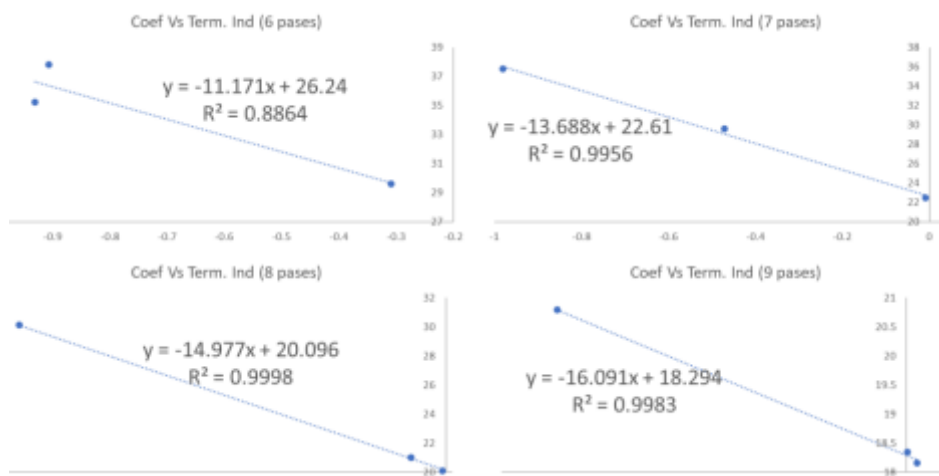
Tabla 39. Correlación de Pearson

		Nro Tal Proyectado	Nro Tal Realizado
Nro. Tal Proyectado	Correlación de Pearson	1	,948
	Sig. (bilateral)		,068
	N	3	3
Nro. Tal Realizado	Correlación de Pearson	,948	1
	Sig. (bilateral)	,068	
	N	3	3

La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral)

Nota: En la tabla 39 se observa la correlación de Pearson

Figura 48. Correlación entre Coeficiente y termino independiente en tendencia lineal de Tiempo de acarreo Vs Producción.



Nota: En la figura 48 se observa la correlación entre coeficiente y termino independiente en tendencia lineal de tiempo de acarreo vs producción.

La correlación existente entre estas dos variables generadas a partir de tendencias previas muestra un índice de correlación cercano al 1 con lo cual podemos

afirmar que dependen entre sí, sin embargo, el valor de sus dependencias sigue teniendo relación directa con el número de pases.

Dado que el valor p obtenido es inferior al nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$), se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a), lo que indica la existencia de una relación estadísticamente significativa entre las variables analizadas. Además, el coeficiente de correlación (r) presenta un valor negativo cercano a 1.00, lo que evidencia una correlación inversa fuerte. Este resultado proporciona fundamentos estadísticos suficientes para afirmar que la eficiencia operativa de los equipos de carguío tiene un impacto significativo en la mejora de los niveles de producción en el Tajo San Gerardo, perteneciente a la Unidad Minera Atacocha S.A.A. Dicho hallazgo resalta la importancia de optimizar el rendimiento de los equipos como una estrategia clave para incrementar la productividad en las operaciones mineras.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en las pruebas 01 y 02, realizadas con el equipo de carguío modelo CAT349D y orientadas a evaluar los rendimientos operativos, revelan que la cuchara de la excavadora se utiliza, en promedio, solo al 67.18 % de su capacidad durante el proceso de carguío de los volquetes. Esto implica que se requieren aproximadamente 7.5 pases para completar una carga total por unidad de transporte.

Este nivel de subutilización puede atribuirse a diversos factores, tales como una inadecuada fragmentación del material, deficiencias en la técnica del operador, o decisiones operativas orientadas a evitar derrames durante el traslado del material. Independientemente de la causa específica, esta condición pone en evidencia una clara oportunidad de mejora en la eficiencia del ciclo de carguío.

Tabla 40. Resumen de rendimiento de carguío con equipo modelo CAT349D

Factor de Carga Promedio		Pases Promedio
VQ 20 tn	70.37%	7.37
VQ 22 tn	67.42%	8.50
VQ 24 tn	63.76%	9.78
Rendimientos		
Time_Ready	min	256.17
Time_Delay	min	188.67
Time_M_T	min	86.60
Time_Stand_by	min	110.50
Uso (Use)	%	57.59
Disponibilidad	%	86.51

Nota: En la tabla 40 se observa el resumen de rendimiento de carguío con equipo modelo CAT349D

Los resultados obtenidos en la prueba 03, realizada con el equipo de carguío modelo CAT374F, indican que el llenado promedio de la cuchara alcanza el 84.84 % de su capacidad durante las operaciones de carguío de volquetes. Si bien este porcentaje representa un mejor aprovechamiento en comparación con evaluaciones anteriores, aún se identifica un margen de mejora en la eficiencia del uso del equipo.

Incrementar el nivel de llenado de la cuchara, dentro de límites seguros y sin ocasionar derrames, podría contribuir a una reducción en el número de pases necesarios por ciclo de carga. Esto, a su vez, permitiría optimizar el tiempo total del proceso, incrementar el rendimiento operativo por hora y mejorar el flujo continuo de la operación minera.

Además, estos hallazgos ofrecen una base técnica importante para implementar acciones de mejora, como la reestructuración de las prácticas operativas del personal, la evaluación de la fragmentación del material y la revisión de la compatibilidad volumétrica entre la cuchara de la excavadora y los volquetes empleados. Todo ello orientado a alcanzar una mayor eficiencia y productividad en el sistema de carguío.

Tabla 41. Resumen de rendimiento de carguío con equipo modelo CAT374F

Factor de Carga Promedio		Pases Promedio
VQ 20 tn	84.69%	5.14
VQ 22 tn	85.16%	5.60
VQ 24 tn	84.66%	6.15
Rendimientos		
Time_Ready	min	310.45
Time_Delay	min	118.42
Time_M_T	min	96.63
Time_Stand_by	min	126.68
Uso (Use)	%	72.39
Disponibilidad	%	85.18

Nota: En la tabla 41 se observa el resumen de rendimientos de carguío con equipo modelo CAT374F

Asimismo, se puede observar que el factor de carga alcanzado por las cucharas de las excavadoras evaluadas es subóptimo en comparación con su capacidad teórica. En el caso de la excavadora CAT349D, se registró un factor de carga máximo del 67.18 %, mientras que la excavadora CAT374F alcanzó un 84.84 %. Aunque este último valor representa un mejor desempeño relativo, ambos casos reflejan un uso limitado del volumen real de las cucharas.

Esta situación está estrechamente relacionada con la heterogeneidad en la granulometría del material fragmentado, lo cual dificulta la conformación de cargas compactas y estables. Como consecuencia, se incrementa el número de pases necesarios para completar el carguío de cada volquete, lo que prolonga el tiempo total de cada ciclo operativo y repercute negativamente en la productividad global.

CONCLUSIONES

En la excavadora CAT349D, el máximo aprovechamiento registrado fue del 67 %, y en la CAT374F del 85 %. Esta baja eficiencia está estrechamente relacionada con la heterogeneidad granulométrica del material fragmentado, lo que dificulta una carga homogénea y requiere un mayor número de pases por ciclo. En consecuencia, se incrementa el tiempo de operación por unidad de carga, disminuyendo el rendimiento y la productividad general.

Las restricciones espaciales del área de trabajo también influyen negativamente en la eficiencia operativa. Se identificaron dos subactividades particularmente afectadas: (1) en el primer pase, se genera un tiempo de espera mientras el volquete se posiciona correctamente frente a la excavadora, y (2) se incrementa el ángulo de giro del brazo de la excavadora, superando los 45°, lo que prolonga la duración del ciclo.

Finalmente, la distribución inadecuada de flota a lo largo de la jornada genera desequilibrios operativos. Se observaron periodos con acumulación de volquetes en espera (colas) y otros sin unidades disponibles (vacíos), lo que provoca tiempos improductivos que afectan directamente el ritmo y la continuidad de la producción.

RECOMENDACIONES

Se recomienda establecer un tamaño promedio de fragmentación en las voladuras, con el fin de obtener una granulometría más uniforme. Esta medida contribuirá a mejorar significativamente el factor de carga de las cucharas de las excavadoras, permitiendo un llenado más eficiente en cada pase. Como resultado, se reducirá el número de ciclos por volquete y se optimizará el rendimiento operativo, impactando positivamente en la productividad general del proceso de carguío.

Es fundamental incrementar el espacio disponible para las maniobras del equipo de carguío, permitiendo que la excavadora pueda operar con mayor libertad y cargar volquetes desde ambos flancos. Esta mejora reduciría el ángulo de giro del brazo de la excavadora, disminuyendo los tiempos de operación por ciclo. Además, ayudaría a minimizar los tiempos improductivos ocasionados por la espera con la cuchara cargada mientras el volquete se posiciona adecuadamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, G. F. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica (6ta Edición ed.). Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=W5n0BgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Box E, G., Hunter Stuart, J., & Hunter G, W. (2008). Estadística para Investigadores. Diseño, innovación y descubrimiento (segunda ed.). Obtenido de https://www.academia.edu/34386593/Estad%C3%ADstica_para_Investigadores_Segunda_edici%C3%B3n_Dise%C3%B1o_innovaci%C3%B3n_y_descubrimiento
- Cachi Morillo, M. W., & Juarez Diaz, J. A. (2022). Evaluación del rendimiento y costo unitario de carguío de las excavadoras de producción en una mina a tajo abierto, La Libertad 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/cf1c5d38-c3ca-4f47-9f0c-c8f3cda4f38a/content>
- Diaz Sánchez, R. (2016). Comparación de la eficiencia de los equipos de carguío modelo cat 390 por el modelo cat 385 para optimizar la producción en el área de operaciones mina Tantahuatay [Tesis de licenciatura, Universidad a las Peruanas]. Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/1114/Tesis_eficiencia_Equipos_Carguio.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Molina Arenas, S. I. (2021). Modelo de optimización de un sistema pala-camión en una mina de carbón a cielo abierto [Trabajo de grado - Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79649>
- Reyes, E. (2022). Metodologia de la Investigacion Cientifica (Primera ed.). Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=SmdxEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

- Rosero Padilla, C. D. (2013). Alternativas para controlar las pérdidas de los elementos de desgaste de los equipos de carguío en la Mina a Cielo Abierto Sur-Sur de la División Andina de Codelco-Chile[Tesis de licenciatura-Universidad central de Ecuador]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>
- Sampieri, R. H., & Mendoza Torres, C. P. (2023). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Obtenido de McGraw-Hill Education.: https://escuelaesam.pe/biblioteca/assets/uploads/libro_689f66489281b.pdf
- Supo, J., & Supo Dr, J. (2012). Seminarios de Investigación Científica: Metodología de la Investigación para Las Ciencias de la Salud. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=OY9rngEACAAJ>
- Tamay y Tamayo, M. (2001). El proceso de la investigación científica. Obtenido de Editorial Limusa.: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso__de_la_investigaci_n_cient_fica_Mario_Tamayo.pdf

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de datos

Resultados

[illegible]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481	1482	1483	1484	1485	1486	1487	1488	1489	1490	1491	1492	1493	1494	1495	1496</
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Matriz de Consistencia

Tema: “Estudio Comparativo de la Eficiencia de los Equipos de Carguío para Mejorar la Producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.-2024”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN	DISEÑO	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿Cómo influye la eficiencia de equipos de carguío para mejorar la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.?	Determinar la mayor eficiencia de los equipos de carguío para mejorar la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A	La comparación de la eficiencia de los equipos de carguío influye significativamente en la mejora de la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.	Eficiencia de los Equipos de Carguío	Operación óptima del equipo Número de pases de la por carguío	Diseño: Cuantitativo descriptivo Tipo de Investigación Aplicada.	POBLACIÓN Establecida por los 08 equipos de carguío del proceso de producción de operaciones superficie en la Unidad Minera Atacocha S.A.A. – Nexa Resources. MUESTRA La estrategia que se utilizó para la selección de la muestra fue la selección de muestra puntual; se tomaron 02 excavadoras de carguío modelo CAT374F y CAT349D del proceso de producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICA	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS - INSTRUMENTOS
¿Cuáles son los factores que afectan a los equipos de carguío en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera	Determinar la pérdida que genera la menor eficiencia de equipos de carguío en la producción en el Tajo San Gerardo de la Unidad	La Identificación de los factores que afectan a los equipos de carguío en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.	Mejorar la Producción	Costo de pérdida generado por carguío al equipo Eficiencia del equipo	Método Analítica Enfoque Cuantitativo	Técnicas: observación directa. Instrumento: Reportes e informes.

Atacocha S.A.A.? ¿Cuál es el equipo que presenta mejora en la producción a menor costo en la operación de carguío en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.?	Minera Atacocha S.A.A. Realizar el estudio de comparación de eficiencia de los equipos de carguío en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A.	La mejora en el proceso de carguío incrementará significativamente al utilizar la herramienta PDCA en el Tajo San Gerardo de la Unidad Minera Atacocha S.A.A				
--	---	--	--	--	--	--

Procedimiento Escrito a Trabajo Seguro de CARGUÍO (PETS)



PETS – OPERACIÓN DE CARGUÍO CON EXCAVADORA

AT-OP-PETS-001
Versión: 05

1. Personal:	2. Equipos de Protección Personal:	3. Equipo/Herramientas/ Materiales:	
1.1. Operador de excavadora. 1.2. Personal de topografía.	2.1. Protector de cabeza con barbiqueo 2.2. Ropa de trabajo con cintas reflectivas. 2.3. Chaleco con cintas reflectivas. 2.4. Zapatos de seguridad con punta de acero. 2.5. Lentes de seguridad claros, oscuros 2.6. Respirador doble vía con filtro para polvo 2.7. Protector de oído 2.8. Bloqueador solar 2.9. Guantes de badana 2.10. Guantes de Nitrilo 2.11. Mascarilla KN95	3.1. Excavadora 3.2. Conos 3.3. Radio de comunicación 3.4. Extintor 3.5. Botiquín 3.6. Linterna de mano 3.7. Kit de limpieza para la prevención y control COVID_19	
4. Procedimiento			
Pasos Operacionales	Peligro / Aspecto Ambiental	Riesgo / Impacto Ambiental	Medidas de control
4.1. Operación de carga con excavadora	• Virus SARS CoV-2 • Psicosocial • Psicosocial	• Contagio del Virus SARS CoV-2. • Estrés laboral. • Fatiga/ cansancio.	• Uso permanente de la mascarilla KN-95, distanciamiento social de 1.5 metros, lavado de manos durante 20 segundos como mínimo y/o uso de alcohol en gel. • Comunicación asertiva. • Pausas activas, cambios en la rutina y comunicar al supervisor de inmediato.
4.2. Limpieza y desinfección de cabina del equipo.	• Manipulación de superficies contaminada • Productos químicos (NaClO)	• Contagio del Virus SARS CoV-2. • Manipulación de productos químicos (intoxicación, salpicadura).	• Uso del kit de limpieza y desinfección para sanitación de cabina. Se realiza la sanitación antes durante y después. • Protocolo de limpieza y desinfección. Capacitaciones específicas a personal sobre los peligros y riesgos de manipulación de sustancias peligrosas. EPPs específico para la limpieza y desinfección: Mascarilla KN95, Uniforme de trabajo, Guantes, lentes, etc • Hacer uso del lente protector ocular en todo momento. Contar con las hojas de MSDS de producto químico. • Verificar que el equipo cuente con ticket de fumigación vigente



PETS – OPERACIÓN DE CARGUÍO CON EXCAVADORA

AT-OP-PETS-001
Versión: 05

4.3. Inspección de excavadora:	- Superficies lisas, cortantes, puntos de atrapamiento. - Plataforma de excavadora, ascenso y descenso a cabina.	- Golpes, cortes, atrapamiento. - Caidas a distinto nivel.	- Para realizar la inspección de equipos hacer uso de guantes de badana, no exponer las manos en puntos de atrapamientos. - Usar los tres puntos de apoyo al ascender y descender del equipo con guantes de badana, hacer uso de los asideros y escalones, el operador mantendrá limpio de barro los estribos. Para inspección por encima del 1.8 metros se debe contar con equipo de protección contra caídas, (arnés de seguridad) solo cuando el equipo no cuente con barandas.
4.4. Arranque y prueba de la Excavadora Hidráulica.	- Personal de piso. - Equipos cerca del radio de operación. - Ruido. - Hidrocarburos.	- Atropello, aplastamiento, golpes. - Choques, impactos. - Exposición al ruido. - Derrames de hidrocarburos.	- Antes de arrancar el motor verificar que no haya personal de piso dentro del radio de operación, Un toque de claxon largo, girar la llave de contacto a la posición conectada esperar que complete el test de todos los sistemas y gire la llave a la siguiente posición de arranque. - Antes de arrancar el motor verificar que no haya equipos dentro del radio de operación, Realizar dos toques de claxon y movimientos de los implementos de trabajo para ciclar todo el sistema hidráulico. Verificar todas las partes móviles haciendo prueba en vacío. - Verificar hermeticidad de cabina, uso de tapón auditivo en caso de ser necesario, mantener ventanas cerradas en todo momento de la operación. - Inspección correcta de posibles fugas del sistema hidráulico y motor, contar con kit anti derrame.
4.5. Traslado de excavadora:	- Equipos en movimiento. - Sistema de rodamiento. - Personal de piso.	- Choques, impactos. - Daño prematuro del sistema de rodamiento Atropellos, golpes, aplastamiento de personal.	- Si el traslado es dentro de la operación (tajo San Gerardo) no se requiere escolta previa comunicación por radio a los involucrados (jefe de guardia y operadores de línea blanca), si el traslado se va a realizar por alguna de las vías principales o si se desplaza al taller deberá de tener escolta. - Poner en posición la rueda guía en la parte delantera, colocar la pluma y brazo en un ángulo de 90°, la altura de la cuchara debe estar aproximadamente de 30 a 50 cm. del piso. - Verificar que por la zona de tránsito no haya presencia de personal, si los hubiera paralizar el traslado informando al jefe guardia.



PETS – OPERACIÓN DE CARGUÍO CON EXCAVADORA

AT-OP-PETS-001
Versión: 05

4.6. Inspección del área de trabajo:	• Terreno desnivelado • Taludes inestables. • Labores subterráneos	• Caída en el mismo nivel y a distinto nivel • Aplastamiento • Hundimiento en labores subterráneas	• Caminar por zonas libres de obstáculos, hacer uso de acceso peatonal, orden y limpieza. • No transitar a menos de 6 metros del pie de los taludes, evitar línea de fuego. Para trabajos en tajo deberá contar con procedimiento de operaciones en proximidades de labores subterráneas, respetar la señalización de chimeneas y transitar por zonas seguras de acuerdo a plano de riesgos.
4.7. Habilitación de plataforma para inicio de carguío:	• Terreno desnivel. • Taludes inestables • Emisión de polvo. • Emisión de ruido. • Personal piso.	• Ladeamiento de excavadora. • Aplastamiento, impacto por roca. • Inhalación de polvo. • Exposición a ruido. • Atropello, golpes, aplastamiento.	• Verificar que el terreno sea estable para conformar su plataforma de carguío y esto deberá tener la altura del brazo de excavadora o como referencia altura del borde inferior de tolva del volquete. • Perfilar taludes inestables, descrestar rocas sueltas. • Verificar hermeticidad de la cabina, mantener ventanas cerradas y hacer uso de respirador. • Verificar hermeticidad de la cabina, mantener ventanas cerradas y hacer uso de tapones auditivos. • Verificar que no haya presencia de personas en un radio de 25 metros de la zona de trabajo.
4.8. Presentación de cucharón para retroceso de volquete.	• Taludes inestables • Material inestable en Cucharón	• Aplastamiento, impacto por roca. • Caída de roca a volquete	• Descrestar rocas inestables en los taludes de área de influencia de trabajo. • Extender brazo 45° grados afuera, retraer el brazo recogiendo el material para llenar la cuchara de material hasta 90°, cerrar cuchara y levantar pluma "material colmado lo necesario a la cuchara" y luego presentar cucharón para el ingreso de volquete en retroceso.



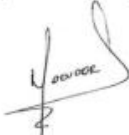
PETS – OPERACIÓN DE CARGUÍO CON EXCAVADORA

AT-OP-PETS-001
Versión: 05

4.9. Carguío de material: En tajo San Gerardo tenemos los siguientes equipos con sus respectivos números de pasadas:	• Interacción de equipos. • Operación inadecuada de excavadora. • Talud inestable • Emisión de polvo • Emisión de ruido • Caída de material del cucharón • Zona de conexión con labores subterráneos. • Volquete.	• Impactos, choques. • Volcaduras de excavadora. • Aplastamiento, caídas de roca, impacto con roca. • Inhalación de polvo. • Exposición a ruido. • Daños por impacto de roca a los equipos de acarreo. • Hundimiento • Volcadura	• Ingreso de volquetes hacia zona de carguío será indicado por el operador de excavadora que presentara el cucharón por encima de la tolva y toque de claxon. • Evitar alargar al máximo el brazo cuando el cucharón está cargado porque podría volcar el equipo, evitar acercarse al borde de plataforma y hombro de talud y menos aún con las orugas paralelas al mismo. • Conforme avance el minado se deberá descrestar y perfilar el ángulo de reposo del material disparado por ambos lados derecha a izquierda e izquierda a derecha, conforme avance ir construyendo una zanja contención para prevenir que el deslizamiento de material o rocas impacte con el equipo. Se trabajará manteniendo el ancho mínimo permisible de 15 metros, en general se deberán cargar de puntos más cercanos de la tolva del volquete (minimizando el ángulo de giro). • Verificar la hermeticidad de la cabina del equipo, uso de respirador y mantener ventanas cerradas. • Verificar la hermeticidad de la cabina del equipo, uso de tapones auditivos y mantener ventanas cerradas. • Operador de excavadora deberá fijar de manera estable la carga en el cucharón y tener en cuenta que en la parte superior de la tolva no debe sobresalir la carga ni rocas que se puedan caer con el movimiento en la ruta de acarreo. • Conforme avance el minado en el tajo donde exista conexiones con labor subterránea el operador deberá aplicar el procedimiento de operaciones en proximidades de labores subterráneas. • En proceso de carguío de retirada, el operador de excavadora deberá formar siempre una bermá de seguridad que pudiera servir como detención del volquete si el operador estuviese distraído.
--	---	--	---

Excavadora	Cap. cuchar m3	Volquete m3	No. Pasadas
336	2.4	15	6
336	2.4	20	9
336	2.4	24	12
349	3.2	15	5
349	3.2	20	7
349	3.2	24	9
374	4.2	15	3
374	4.2	20	4-5
374	4.2	24	6

4.9 Estacionamiento y cierre de operación:	- Personal de Piso. - Equipos en movimiento. - Descenso de cabina.	- Atropello, golpe, aplastamiento. - Choque, impactos. - Calda a distinto nivel.	- Verificar que no existe personal cerca de su operación y cumplimiento de claxon de acuerdo al proceso de adelantar o retroceder. - Verificar que no exista equipos dentro de su radio de influencia, estacionar la maquina en terreno seguro y horizontal con sus implementos apoyados en el piso (Cucharón), esperar 5 minutos para enfriar la máquina y apagar el motor, colocar los conos de seguridad. - Uso tres puntos de apoyo, uso de EPPS, Inspección del equipo y reportar el estado actual del equipo como está quedando y el lugar.
5. Restricciones			
5.1 No contar con Licencia Interna de Manejo de excavadora. 5.2 Presencia de Inestabilidad de taludes. 5.3 Condiciones no óptimas del clima. 5.4 Alerta roja de tormenta eléctrica. 5.5 Fallas mecánicas. 5.6 Bancos con rocas colgadas en el talud. 5.7 Personal / equipos trabajando en niveles inferiores o superiores. 5.8 Falta de iluminación. 5.9 Cuando el operador no cuenta con kit de limpieza para la prevención y control de la COVID_19 se paraliza dicha actividad hasta disponer un kit de limpieza por seguridad 5.10 No ejecutar la actividad si el personal operador No realizo el control de triaje de ingreso.			

PREPARADO POR	REVISADO POR	
		
Pablo Deudor Atencio Asistente de Jefe de Operaciones	Anibal Aguirre Roque Representante de trabajadores	h

Planos

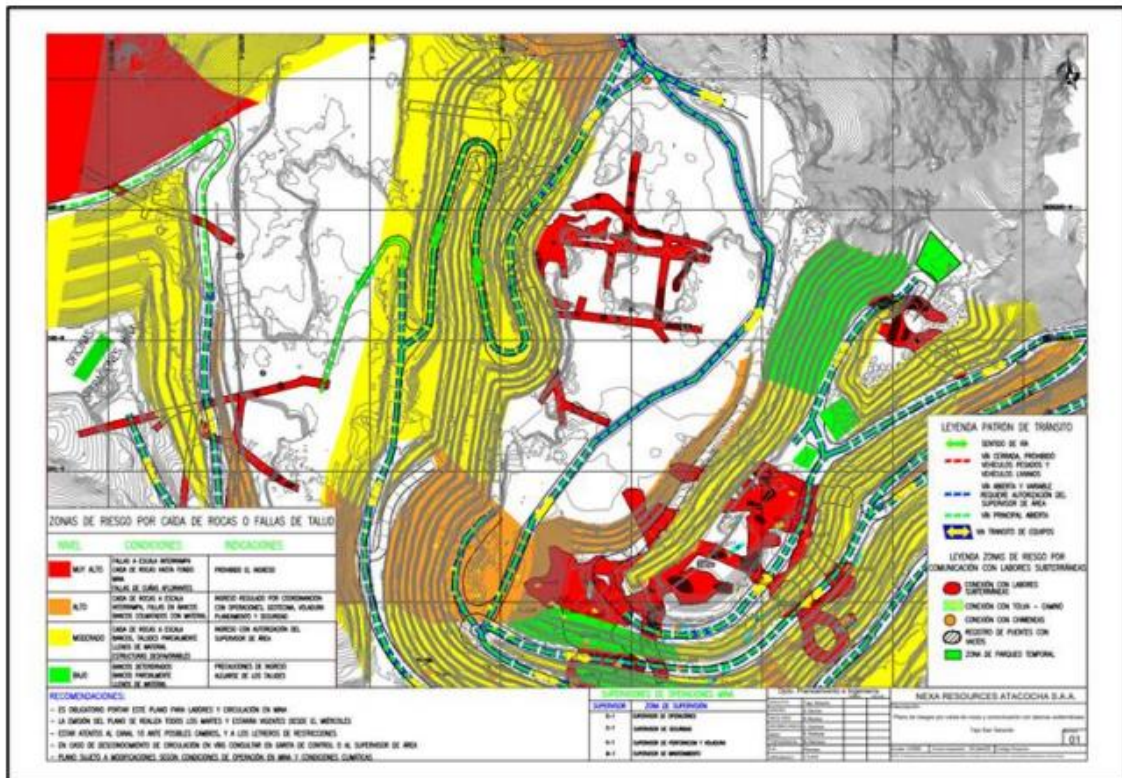


Imagen 01: Plano de riesgo.

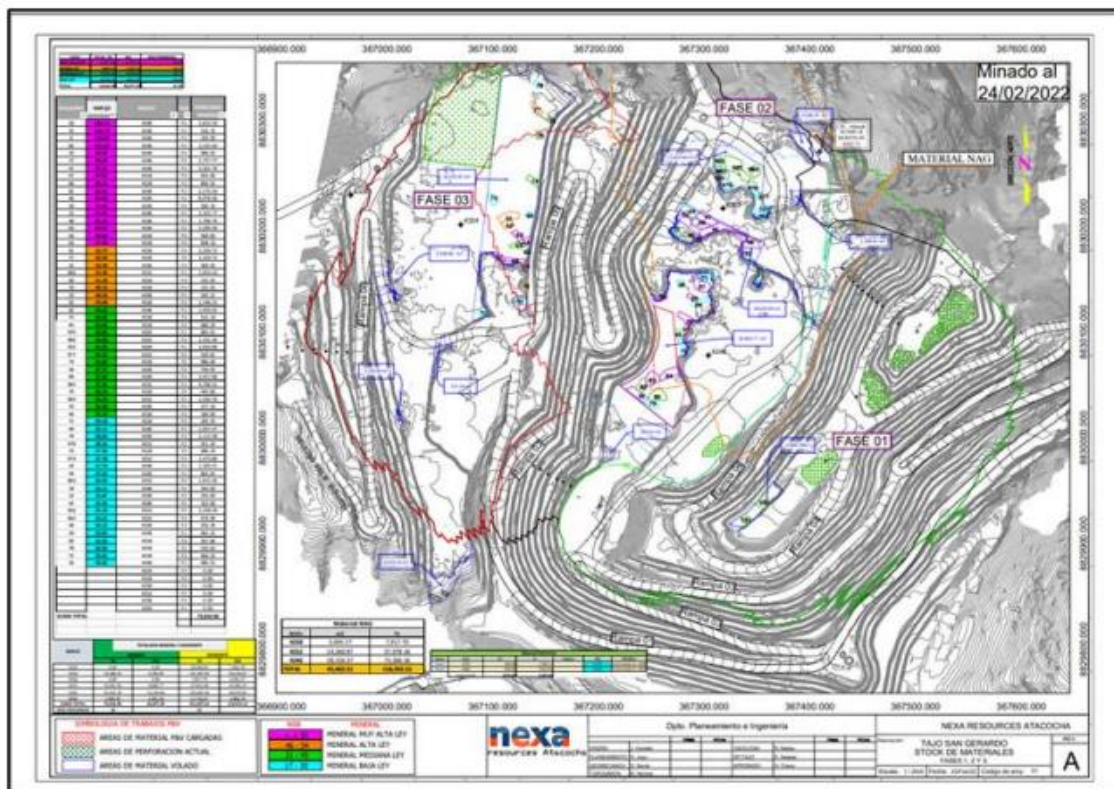


Imagen 02: Plano stock de materiales – mineral y desmante.

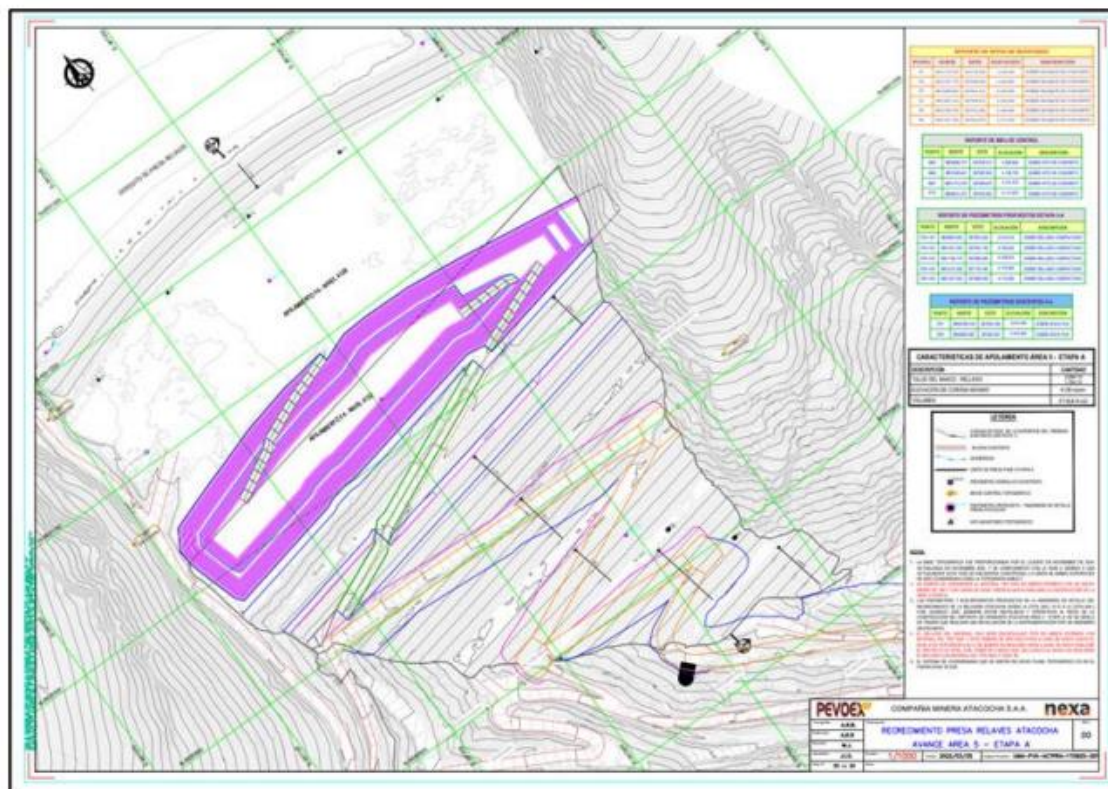
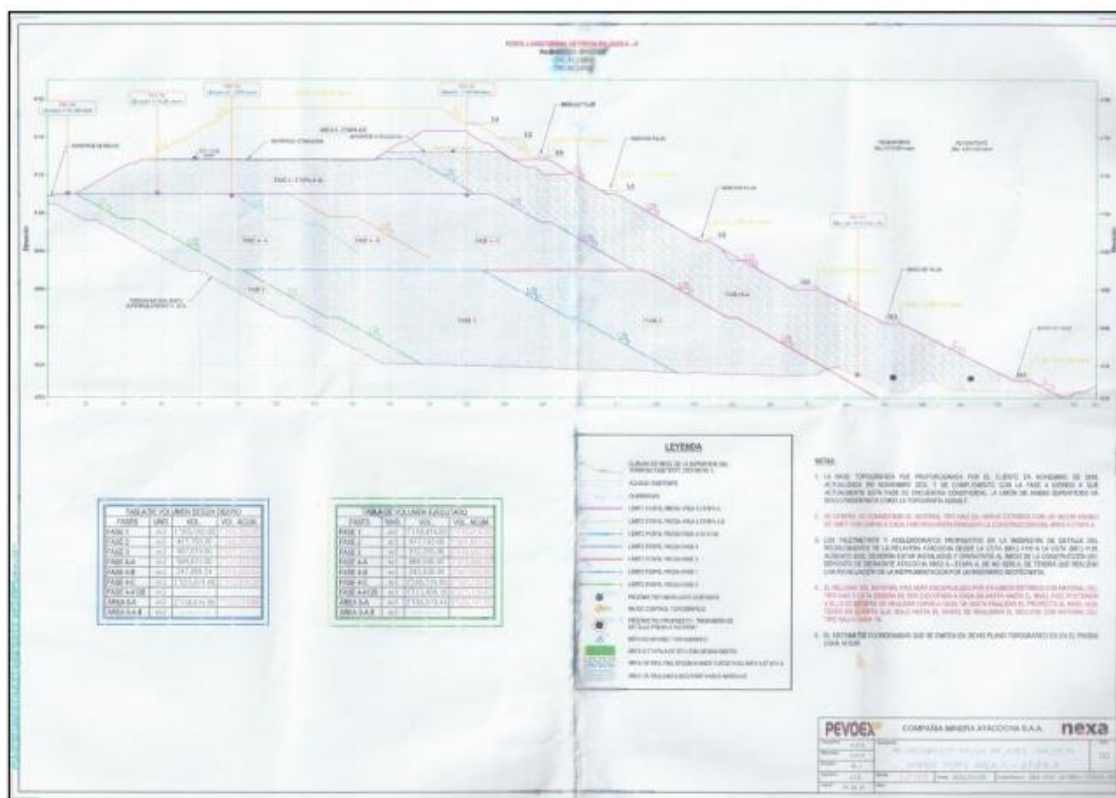


Imagen 03: Plano presa de relaves – vista planta.



Panel fotográfico



Imagen 05: Frentes de carguío de mineral.



Imagen 06: Carguío con equipo.



Imagen 07: Volquete para carguío de mineral.



Imagen 08: Ciclo de carguío de mineral.